



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO
OBTENIDO DE LA APV. KARI GRANDE VÍA RUMI WASI – SAN SEBASTIÁN
UTILIZADO A NIVEL DE SUBRASANTE EN LA REGIÓN CUSCO, ESTABILIZADO
CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ Y CAL EN PORCENTAJES 7%-5%, 12%-5%
Y 15%-5%; RESPECTIVAMENTE.”**

Presentado por:

Bach. Diego Armando Argandoña Puma

Bach. Julio Palomino Blanco

**Para Optar al Título Profesional de Ingeniero
Civil**

Asesor:

Mg. Ing . Eigner Roman Villegas

CUSCO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Con cariño a mis padres Waldir Argandoña Pillco y Soylafior Puma Mansilla, por ser el pilar en mi vida, por estar en todo momento guiando mis pasos y depositar su confianza en mí. Por el amor incondicional que tengo hacia ellos y agradezco eternamente con la vida por ponerme en su camino, los adoro demasiado.

Con mucho amor a mis hermanas Lucia Fernanda V. Argandoña Puma y Ana Fiorella V. Argandoña Puma por darme su confianza y para que puedan ser mejores personas en un futuro; las amo infinitamente. También para algunos familiares por la preocupación y orientación; y así mismo para amigos que siempre estuvieron a mi lado.

Diego Armando Argandoña Puma

En primer lugar, a Dios por protegerme y bendecirme durante todo este camino.

A mis padres Celso y Filomena por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, por toda la confianza depositada en mí, por su inmenso amor y estar presente en cada instante de mi vida, porque como grandes personas que son llenos de valores y principios, es como quiero reflejarme en mi vida futura. A mis familiares, amigos y personas especiales para mí, por su orientación preocupación y miles de consejos en toda mi etapa universitaria.

Julio Palomino Blanco



AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres por su infinita paciencia y amor incondicional.

A nuestra casa de estudios superiores Universidad Andina del Cusco.

A la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco, a nuestros docentes ingenieros: Salas Forton, Edson Julio; Gutierrez Vallejo, Heber, Solis Tito, Juan Carlos; Mg. Alvarez Monterola, Walter Roberto; María Isabel Callahui; Carmen Gil; Elvis Mamani; Mg. Florez Boza, Alvaro Horacio; Mg. Chura Cortez, Cesar Augusto; que aportaron bastante a los conocimientos que nos llevamos.

A nuestro asesor Mg. Roman Villegas, Eigner por su paciencia y conocimiento brindado en la elaboración de esta investigación desde su inicio hasta su culminación.

A familiares y amigos, que nos colaboraron y apoyaron en todo momento, además al Club O11CE sport por su hospitalidad.

Diego - Julio



RESUMEN

Los fines y objetivos de la presente investigación es evaluar y mejorar las propiedades físico-mecánicas del material que se utilizara a nivel de subrasante, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en distintos porcentajes; verificando que estos materiales cumplan con lo mínimo establecido por la norma para ser utilizado como material de sub-rasante, para tal fin se realizó pruebas de laboratorio, tales como: ensayos de limite líquido, limite plástico, relaciones humedad-densidad (proctor modificado) y relación de soporte de California (CBR); bajo la tutela del Manual de Ensayo de Materiales (2016).

Esta investigación presenta un enfoque cuantitativo, debido a que los datos obtenidos en campo son medidos y analizados según sea el fin de estas (se hizo una medición de las propiedades físico-mecánicas del suelo). Así mismo, se establecen las hipótesis antes de la recolección de datos.

La investigación se centra únicamente en muestras obtenidas de la APV. Kari Grande – Vía Rumi Wasi – distrito de San Sebastián - Provincia Cusco. Se procedió a realizar las mezclas suelo con ceniza de cáscara de arroz (CCA) y cal en diferentes porcentajes: 7% de CCA + 5% de CAL, 12% de CCA + 5% de CAL y 15% de CCA + 5% de CAL; respecto al agua de mezcla. Teniendo en cuenta que la cantidad de elementos que componen nuestra muestra son: 54 ensayos que se realizaran en laboratorio a las muestras de suelo añadiendo ceniza de cascara de arroz y cal en dichos porcentajes. Los resultados indican que hubo incrementos poco significativos respecto al límite plástico, limite líquido e índice de plasticidad, también hubo disminución poco significativa respecto a la densidad máxima del suelo. Caso contrario, fue la capacidad de soporte de los suelos, ya que muestran una notable mejora debido a la presencia de ceniza de cascara de arroz + cal, incremento el valor de CBR de 4.45% del estado natural del suelo arcilloso, hasta 28.09%, lo cual representa según la categoría de Sub – Rasante, como muy buena, según el Manual de carretera – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, el alto porcentaje de sílice dentro de la ceniza de cascara de arroz (86.80%), nos asegura que este material será un potencial agente estabilizador para suelos arcillosos

Palabras Claves: propiedades físico-mecánicas, sub-rasante, ceniza de cascara de arroz, cal, aditivo químico, CBR, suelo arcilloso.



ABSTRACT

The purposes and objectives of the present investigation is to evaluate and improve the physical-mechanical properties of the material that is used at a subgrade level stabilized with rice husk and lime ash in different percentages, verifying that these materials comply with the minimum established by the standard to be used as a subgrade material, for this purpose laboratory tests were performed such as: liquid liquid tests, liquid plastic, moisture-density ratios (modified tester) and California support ratio (CBR); under the tutelage of the Materials Testing Manual (2016).

This research presents a quantitative approach, because the data obtained in the field are measured and analyzed according to their purpose (a measurement of the physical-mechanical properties of the soil was made). Likewise, the hypotheses are established before data collection.

The research focuses solely on samples obtained from VCT. Kari Grande - Via Rumi Wasi - San Sebastián District - Cusco Province. The soil mixtures were made with rice husk ash (CCA) and lime in different percentages: 7% CCA + 5% CAL, 12% CCA + 5% CAL, 15% CCA + 5% LIME; Regarding mixing water. Taking into account that the quantity of elements that make up our sample are: 54 tests that will be carried out in the laboratory on soil samples by adding rice husk ash and lime in different percentages. The results indicate that there were little significant increases with respect to the plastic limit, liquid limit and plasticity index, there was also a little significant decrease with respect to the maximum soil density. Otherwise it was the support capacity of the soils, since they show a notable improvement due to the presence of rice husk ash + lime, increased the CBR value of 4.45% of the natural state of the clay soil, up to 28.09%, which represents according to the category of Sub - Flush, as very good, according to the Road Manual - Soils, Geology, Geotechnics and Pavements, the high percentage of silica within the rice husk ash (86.80%), assures us that this material will be a potential stabilizing agent for clay soils.

Keywords: physical-mechanical properties, sub-grade, rice husk ash, lime, chemical additive, CBR, clay soil.



INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Ingeniería vial, viene avanzado increíblemente a nivel mundial, así como el afán de nuevas tecnologías. La pavimentación de calles y carreteras es de vital importancia para el desarrollo económico y la comunicación para cada país.

En la actualidad en el Perú, el ente principal responsable es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), donde contamos con el Manual de Diseño de Carreteras el cual se publica en el año 2013; así mismo gozamos de la Norma CE 010 de Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones. Teniendo en cuenta que en el Perú la gran mayoría del estado de carreteras y caminos vecinales se encuentra en déficit respecto a las vías pavimentadas, y junto a esto no se da el mantenimiento adecuado y se descuida el desarrollo de infraestructura.

Además, la pavimentación en las vías de la región Cusco es de gran importancia, porque permite la comunicación y el desarrollo económico de un territorio determinado, buscando mejorar la transitabilidad del usuario, actualmente la demanda de pavimentaciones y construcciones de carreteras tiene una solicitud elevada, y a todo esto se adjunta los gastos por mantenimiento, reparación y rehabilitación. En la actualidad se evalúan con métodos basados en estudios científicos corroborados mediante la experimentación.

Como se conoce, se usan aditivos para mejorar el desempeño del suelo, buscando estabilizar y mejorar propiedades geotécnicas, por eso, la razón de esta presente investigación, es el estudio de cómo influye la ceniza de cascara de arroz y la cal en la estabilización de un suelo a nivel de subrasante, considerando que es un método de estabilización química que busca mejorar las propiedades físico-mecánicas, especialmente obtener mejor capacidad de soporte CBR.

Resuelto lo anterior, la tesis se divide en los siguientes capítulos. **Capítulo I**, identifica y describe la situación actual del suelo de la vía que se va estudiar, señalando la ubicación, ruta, el tipo de suelo que presenta, y de donde será traído el aditivo a usar. Por otro lado, se formulan las interrogantes, justificaciones, limitaciones y objetivos respecto al suelo que presenta la vía.



Capítulo II, se pone en conocimiento la recolección de antecedentes a nivel local, nacional e internacional y al finalizar contrastar con los resultados. A su vez, se facilita aspectos teóricos de cada concepto que involucra el estudio, para su mejor interpretación a través de su evaluación, indicando también el planteamiento de las hipótesis y variables: dependientes e independientes.

Capítulo III, se da a conocer la metodología y el diseño de investigación, uso de instrumentos en laboratorio, la población y muestra que será evaluada; las fichas técnicas que se utilizarán para el procedimiento y cálculo de datos de los ensayos son: ensayos de límite líquido, límite plástico, relaciones humedad-densidad (proctor modificado) y relación de soporte de California (CBR); por último, el procedimiento que se realizó para la recolección de datos en campo y en laboratorio.

Capítulo IV, se muestran los resultados de la investigación, haciendo referencia a las propiedades físico-mecánicas estudiadas del suelo proveniente obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, infiriendo en cada una de las hipótesis.

Capítulo V, hace referencia a las discusiones difiriendo en los antecedentes y conceptos con los resultados que se han obtenido en cada uno de ellos de manera individual, expresando los resultados a través de las conclusiones logradas durante el transcurso de la investigación, y por último con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo estudiado se propone una solución con los porcentajes correctos de los dos aditivos que se usaron para su correcta estabilización.



ÍNDICE

1.	Planteamiento del Problema -----	1
1.1.	Identificación del problema -----	1
1.1.1.	Descripción del problema-----	1
1.1.2.	Formulación interrogativa del problema-----	3
1.1.2.1.	Problema general -----	3
1.1.2.2.	Problemas específicos -----	3
1.2.	Justificación e importancia de la investigación -----	3
1.2.1.	Justificación técnica -----	3
1.2.2.	Justificación social-----	4
1.2.3.	Justificación por viabilidad -----	4
1.2.4.	Justificación por Relevancia-----	4
1.3.	Limitaciones de la Investigación -----	5
1.3.1.	Limitaciones Geográficas-----	5
1.3.2.	Limitaciones de Información-----	5
1.3.3.	Limitaciones de Diseño -----	5
1.4.	Objetivos de la investigación -----	6
1.4.1.	Objetivo General -----	6
1.4.2.	Objetivos Específicos -----	6



- 2. Marco Teórico -----7
 - 2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual -----7
 - 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional-----7
 - 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional ----- 10
 - 2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes ----- 12
 - 2.2.1. Suelo ----- 12
 - 2.2.1.1. Definición de Suelo ----- 12
 - 2.2.1.2. Origen del Suelo----- 13
 - 2.2.1.3. Tipos de Suelos ----- 13
 - 2.2.1.4. Tamaño de las Partículas ----- 15
 - 2.2.2. Pavimento ----- 17
 - 2.2.2.1. Definición de Pavimento ----- 17
 - 2.2.2.2. Características que debe reunir un pavimento----- 17
 - 2.2.2.3. Factores a considerar en el Diseño----- 18
 - 2.2.2.4. Tipos de pavimento ----- 19
 - 2.2.3. Ensayos Fundamentales de Suelos.----- 20
 - 2.2.3.1. Determinación del Contenido de Humedad.----- 20
 - 2.2.3.2. Análisis Granulométrico de Suelos. ----- 20
 - 2.2.3.3. Límites de Consistencia ----- 23
 - 2.2.3.4. Clasificación de Suelos ----- 26



2.2.3.5.	Compactación de Suelos – Proctor Modificado-----	31
2.2.3.6.	Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR). -----	33
2.2.4.	Estabilización de Suelos -----	35
2.2.4.1.	Tipos de Estabilización -----	37
2.2.5.	Ceniza de Cascarilla de Arroz-----	43
2.2.5.1.	La cascarilla de arroz (CA) -----	43
2.2.5.2.	La ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA)-----	43
2.2.5.3.	Caracterización de la cascara de Arroz-----	44
2.2.5.4.	Propiedades físicas de la ceniza de cascarilla de arroz-----	44
2.2.5.5.	Propiedades Químicas de la Ceniza de Cascarilla de Arroz-----	45
2.3.	Hipótesis -----	47
2.3.1.	Hipótesis General -----	47
2.3.2.	Sub Hipótesis -----	47
2.4.	Definición de variables -----	47
2.4.1.	Variables independientes -----	47
2.4.2.	Variables dependientes -----	48
2.4.3.	Cuadro de operacionalización de variables -----	49
3.	Metodología -----	50
3.1.	Metodología de la Investigación -----	50
3.1.1.	Enfoque de la Investigación -----	50



3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación-----	51
3.1.3.	Método de la Investigación-----	51
3.2.	Diseño de la Investigación -----	52
3.2.1.	Diseño Metodológico-----	52
3.2.2.	Diseño de Ingeniería-----	52
3.3.	Población y Muestra -----	53
3.3.1.	Población-----	53
3.3.1.1.	Descripción de la población -----	53
3.3.1.2.	Cuantificación de la población -----	53
3.3.2.	Muestra -----	53
3.3.2.1.	Descripción de la Muestra-----	54
3.3.2.2.	Cuantificación de la Muestra -----	54
3.3.2.3.	Método de Muestreo -----	54
3.3.2.4.	Criterios de evaluación de la muestra -----	55
3.3.3.	Criterios de Inclusión-----	55
3.4.	Instrumentos-----	56
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos-----	56
3.4.1.1.	Determinación del contenido de humedad-----	56
3.4.1.2.	Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado-----	58
3.4.1.3.	Determinación del límite Líquido-----	59



3.4.1.4. Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad----- 60

3.4.1.5. Determinación de Relación Humedad – Densidad (Proctor Modificado)----- 61

3.4.1.6. Determinación del Ensayo de CBR (laboratorio)----- 62

3.4.2. Instrumentos de Ingeniería ----- 63

3.4.2.1. Determinación del contenido de humedad----- 63

3.4.2.2. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado ----- 63

3.4.2.3. Ensayo de límite líquido----- 63

3.4.2.4. Ensayo de límite plástico. ----- 64

3.4.2.5. Ensayo de proctor modificado----- 64

3.4.2.6. Ensayo CBR “California Bearing Ratio----- 64

3.5. Procedimiento de recolección de datos----- 65

3.5.1. Muestreo de Suelos ----- 65

3.5.2. Ensayo de contenido de Humedad----- 72

3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado----- 73

3.5.4. Ensayo de límite líquido ----- 76

3.5.5. Ensayo de Limite Plástico ----- 80

3.5.6. Ensayo de Relación Humedad- Densidad (Proctor Modificado)----- 85

3.5.7. Ensayo CBR “california bearing ratio” ----- 94

3.6. Procedimiento de Análisis de Datos ----- 102

3.6.1. Ensayo de contenido de humedad ----- 102



3.6.1.1.	Procesamiento de datos y cálculos	102
3.6.1.2.	Diagrama del Ensayo	102
3.6.1.3.	Análisis de prueba	103
3.6.2.	Ensayo de Análisis Granulométrico de suelos por tamizado	103
3.6.2.1.	Procesamiento del ensayo	103
3.6.2.2.	Diagrama del Ensayo	104
3.6.2.3.	Análisis del ensayo	106
3.6.3.	Determinación del Límite liquido	106
3.6.3.1.	Procesamiento del Ensayo	106
3.6.3.2.	Diagrama del ensayo	107
3.6.3.3.	Análisis del Ensayo	111
3.6.4.	Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (I.P.)	112
3.6.4.1.	Procesamiento del Ensayo	112
3.6.4.2.	Diagrama del Ensayo	113
3.6.4.3.	Análisis del Ensayo	117
3.6.5.	Clasificación de Suelos	118
3.6.5.1.	Procesamiento del Ensayo	118
3.6.5.2.	Diagrama del Ensayo	121
3.6.5.3.	Análisis de la Clasificación de Suelos	123
3.6.6.	Relación Humedad – Densidad (Proctor Modificado)	123



3.6.6.1.	Procesamiento del Ensayo -----	123
3.6.6.2.	Diagrama del Ensayo -----	124
3.6.6.3.	Análisis del Ensayo -----	129
3.6.7.	Ensayo CBR “california bearing ratio” (laboratorio) -----	129
3.6.7.1.	Procesamiento del Ensayo -----	129
3.6.7.2.	Diagramas del Ensayo -----	132
3.6.7.3.	Análisis del Ensayo -----	145
4.	Resultados -----	146
4.1.	Resultados de los ensayos -----	146
4.1.1.	Ensayo de contenido de humedad -----	146
4.1.2.	Análisis Granulometría de suelos por tamizado -----	147
4.1.3.	Determinación del Limite Liquido (L.L), Limite Plástico (L.P) e Índice de Plasticidad (I.P) de los Suelos -----	149
4.1.4.	Clasificación de suelos -----	152
4.1.5.	Relación de Humedad – densidad (Proctor Modificado)-----	152
4.1.6.	Ensayo de CBR (en laboratorio)-----	154
5.	Discusión -----	159



Índice de Tablas

Tabla 1 Designación de las partículas de acuerdo al sistema de clasificación -----	21
Tabla 2 Clasificación de suelos según índice de plasticidad -----	26
Tabla 3 Clasificación de suelos según índice de grupo -----	27
Tabla 4 Simbología de suelos según SUCS-----	27
Tabla 5 Características y uso de los Suelos-----	29
Tabla 6 Clasificación de Suelos, según AASHTO-----	30
Tabla 7 Características de los Suelos – según AASHTO-----	31
Tabla 8 Métodos usados para en el Ensayo de Proctor-----	32
Tabla 9 Clasificación de la Subrasante de acuerdo al CBR -----	33
Tabla 10 Ensayos y Frecuencias de suelo estabilizado con productos químicos -----	41
Tabla 11 Composición química de la cascarilla de arroz -----	44
Tabla 12 Propiedades de la ceniza de cascarilla de arroz -----	45
Tabla 13 Contenido de Sílice de la Ceniza de Cascarilla de Arroz-----	46
Tabla 14 Ensayos realizados, normativa y número de muestras-----	55
Tabla 15 Ficha de toma de datos del Contenido de Humedad -----	57
Tabla 16 Ficha de toma de datos para el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado-----	58
Tabla 17 Ficha de toma de datos del Ensayo del límite líquido -----	59
Tabla 18 Ficha de toma de datos del Ensayo de Limite Plástico e Índice de plasticidad -----	60
Tabla 19 Ficha de toma de datos del Ensayo de Proctor Modificado-----	61



Tabla 20 Ficha de toma de datos del Ensayo de CBR----- 62

Tabla 21 Contenido de Humedad del Suelo Natural – Toma de datos----- 72

Tabla 22 Ensayo granulométrico de suelos por tamizado del Suelo Natural – Toma de datos---- 76

Tabla 23 Limite Liquido de Suelo Natural – Toma de datos----- 79

Tabla 24 Limite Liquido Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos ----- 79

Tabla 25 Limite Liquido Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos ----- 80

Tabla 26 Limite Liquido Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos ----- 80

Tabla 27 Limite Plástico de Suelo Natural – Toma de datos----- 84

Tabla 28 Limite Plástico de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos ----- 84

Tabla 29 Limite Plástico de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos ----- 84

Tabla 30 Limite Plástico de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos ----- 85

Tabla 31 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado ----- 85

Tabla 32 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo Natural – Toma de datos
----- 90

Tabla 33 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 88% CCA 7% CAL 5%
– Toma de datos ----- 91

Tabla 34 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 83% CCA 12% CAL 5%
– Toma de datos ----- 92

Tabla 35 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 80% CCA 15% CAL 5%
– Toma de datos ----- 93

Tabla 36 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Toma de datos----- 98



Tabla 37 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos ----- 99

Tabla 38 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos ----- 100

Tabla 39 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos ----- 101

Tabla 40 Contenido de humedad Suelo Natural – Procesamiento de Datos ----- 102

Tabla 41 Ensayo Granulométrico – Procesamiento de Datos ----- 105

Tabla 42 Ensayo de limite liquido de Suelo Natural – Procesamiento de datos----- 107

Tabla 43 Ensayo de limite liquido de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos 108

Tabla 44 Ensayo de limite liquido de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos
----- 109

Tabla 45 Ensayo de limite liquido de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos
----- 110

Tabla 46 Ensayo de limite plástico de Suelo Natural – Procesamiento de datos ----- 113

Tabla 47 Ensayo de limite plástico de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos
----- 114

Tabla 48 Ensayo de limite plástico de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos
----- 115

Tabla 49 Ensayo de limite plástico de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos
----- 116

Tabla 50 Clasificación de suelo según AASHTO – Toma de datos----- 119

Tabla 51 Clasificación de Suelos – Método AASHTO - 1 ----- 119

Tabla 52 Clasificación de Suelos – Método AASHTO - 2 ----- 120

Tabla 53 Clasificación de Suelos según SUCS – Toma de datos----- 120



Tabla 54 Clasificación de Suelos según AASHTO – Procesamiento de datos ----- 121

Tabla 55 Clasificación de Suelos según SUCS – Procesamiento de datos ----- 122

Tabla 56 Proctor Modificado de Suelo Natural – Procesamiento de datos----- 125

Tabla 57 Proctor Modificado de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos----- 126

Tabla 58 Proctor Modificado de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos --- 127

Tabla 59 Proctor Modificado de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos --- 128

Tabla 60 Características de la muestra patrón----- 130

Tabla 61 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Ensayo de Compactación y Expansión –
Procesamiento de datos ----- 133

Tabla 62 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Ensayo de Penetración – Procesamiento de datos
----- 134

Tabla 63 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Densidad Seca vs CBR – Procesamiento de datos
----- 135

Tabla 64 Ensayo CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Ensayo de Compactación y Expansión
– Procesamiento de datos----- 136

Tabla 65 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Ensayo de Penetración –
Procesamiento de datos ----- 137

Tabla 66 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Densidad vs CBR – Procesamiento
de datos----- 138

Tabla 67 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Ensayo de Compactación y
Expansión – Procesamiento de datos ----- 139

Tabla 68 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Ensayo de Penetración –
Procesamiento de datos ----- 140



Tabla 69 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% –Densidad Seca vs CBR–
Procesamiento de datos ----- 141

Tabla 70 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Ensayo de Compactación y
Expansión – Procesamiento de datos ----- 142

Tabla 71 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Ensayo de Penetración –
Procesamiento de datos ----- 143

Tabla 72 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Densidad vs CBR – Procesamiento
de datos----- 144

Tabla 73 Ensayo de CBR – Resumen de CBR’s, DSM y CHO añadiendo CCA + CAL----- 145

Tabla 74 Ensayo de Contenido de humedad - Resultados ----- 146

Tabla 75 Cuadro Comparativo de la variación de L.L, L.P e I.P según adición de CCA y CAL 149

Tabla 76 Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS ----- 152

Tabla 77 Cuadro comparativo de la variación de la DMS y CHO según el porcentaje de adición de
CCA y CAL ----- 152

Tabla 78 Cuadro de comparación de los resultados de CBR, DMS y CHO, considerando los
distintos porcentajes de adición de CCA y CAL----- 155

Tabla 79 Cuadro Comparativo de CBR y DMS añadiendo distintos porcentajes de CCA y CAL,
teniendo en cuenta el número de golpes por capa. ----- 156

Tabla 80 Cuadro comparativo del % de Expansión en relación a distintos % de CCA y CAL,
respecto a la fuerza de compactación ----- 157

Tabla 81 Cuadro comparativo de la categoría de la Sub-rasante según los datos obtenidos al añadir
CCA y CAL en distintos porcentajes----- 159



Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica -----	2
Figura 2 Estratigrafía de los Suelos Residuales -----	14
Figura 3 Suelos Transportados -Estratigrafía-----	15
Figura 4 Rango de tamaño de las partículas del suelo-----	15
Figura 5 Comportamiento de Pavimentos Rígidos y Flexibles -----	19
Figura 6: Análisis Granulométrico por Tamizado -----	21
Figura 7 Curva Granulométrica -----	22
Figura 8 Distribución no acumulada de las frecuencias de los tamaños anteriores -----	23
Figura 9 Coeficiente de uniformidad Cu con el coeficiente de curvatura Cc -----	23
Figura 10 Materiales para realizar ensayos de LL y LP-----	24
Figura 11 Estados del Suelo. Límites de Plasticidad -----	25
Figura 12 Carta de Plasticidad -----	28
Figura 13 Detalle de la clasificación en la zona de $LL < 60$ y $IP < 30$ -----	28
Figura 14 Aparato de CBR -----	34
Figura 15 Proceso de selección del Tipo de Estabilización -----	36
Figura 16 Mapa – Provincia de Paucartambo – Lugar de obtención de la cascarilla de arroz ----	46
Figura 17 Proceso Cuantitativo-----	50
Figura 18 Flujoograma -----	52
Figura 19 Tramo APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi-----	65



Figura 20 Extracción de Material APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi ----- 66

Figura 21 Material Extraído de la calicata APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi----- 66

Figura 22 Perfil de Planta de la APV.Kari Grande – Vía Rumiwasi ----- 67

Figura 23 Estratigrafía (C-2) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande----- 68

Figura 24 Estratigrafía (C-1) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande----- 68

Figura 25 Estratigrafía (C-4) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande----- 69

Figura 26 Estratigrafía (C-3) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande----- 69

Figura 27 Estratigrafía (C-5) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande----- 70

Figura 28 Horno Artesanal – Incineración de la cascarilla de arroz ----- 71

Figura 29 Ceniza de cascara de arroz quemada ----- 71

Figura 30 Juego de Tamices ----- 74

Figura 31 Toma de datos del Ensayo de Análisis Granulométrico ----- 75

Figura 32 Colocado de material en el Aparato de Casa Grande ----- 77

Figura 33 Límite líquido – colocación de muestras en taras ----- 78

Figura 34 Límites de Consistencia – Suelo Natural ----- 81

Figura 35 Límites de Consistencia - SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5% ----- 82

Figura 36 Límites de Consistencia - SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5% ----- 83

Figura 37 Límites de Consistencia - SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5% ----- 83

Figura 38 Ensayo de Proctor Modificado - Procedimiento----- 86

Figura 39 Ensayo de Proctor Modificado – Suelo Natural ----- 87



Figura 40 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5% ----- 87

Figura 41 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5% ----- 88

Figura 42 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5% ----- 88

Figura 43 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración Suelo Natural ----- 95

Figura 44 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5%
----- 96

Figura 45 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5%
----- 96

Figura 46 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5%
----- 97

Figura 47 Contenido de Humedad Natural----- 103

Figura 48 Variación del límite líquido con diferentes porcentajes de adición de ceniza de cascara
de arroz y cal ----- 111

Figura 49 Variación del límite plástico del suelo con diferentes porcentajes de adición de ceniza de
cascara de arroz y cal----- 117

Figura 50 Ensayo Contenido de humedad - Resultados----- 146

Figura 51 Resultado de la Composición Granulométrica del Suelo ----- 147

Figura 52 Curva Granulométrica ----- 148

Figura 53 Variación del Límite Líquido según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL
----- 149

Figura 54 Variación del Límite Plástico según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL
----- 150



Figura 55 Variación del Índice de Plasticidad según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL----- 151

Figura 56 Resultado de la DMS vs el % de adición de CCA y CAL ----- 153

Figura 57 Resultado de Contenido Óptimo de humedad vs el % de CCA y CAL ----- 154

Figura 58 Variación de CBR en relación al porcentaje de CCA + CAL ----- 155

Figura 59 Resumen de las densidades máximas vs CBR ----- 156

Figura 60 Resumen del % de Expansión en relación a la adición del % de CCA y CAL, respecto a la fuerza de compactación----- 158

Figura 61 Análisis Químico de la ceniza de cascarilla de arroz procedente del poblado de Pilcopata distrito de Kosñipata provincial de Paucartambo ----- 160

Figura 62 Análisis de precios unitarios para la obtención de ceniza de cascarilla de arroz de la zona de Pilcopata----- 160



Capítulo I

1. Planteamiento del Problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La Región del Cusco se caracteriza por presentar en la mayoría de su territorio suelos arcillosos, muchos de estos suelos arcillosos no pueden ser usados como subrasante o sub base en la construcción de carreteras ya que no cumplen con los requisitos mínimos establecidos, por la baja capacidad de soporte de resistencia que presentan. Otro inconveniente que se tiene en la ciudad del cusco para la construcción de carreteras, es lo complicado de encontrar canteras con materiales granulares adecuados para ser empleados como material en subrasante.

Las carreteras y trochas que contienen suelo arcilloso de baja resistencia, no pueden soportar las cargas del tráfico vehicular, presentando problemas como asentamientos y agrietamientos que van generando un deterioro en la vía reduciendo su vida útil. El estado de muchas carreteras en la región del Cusco presenta severos daños en toda la estructura del pavimento, afectando el confort de las personas que se trasladan en sus vehículos e inclusive causando accidentes vehiculares.

Por otro lado, en el Perú, la producción de arroz ocupa grandes extensiones en los valles del Norte, Selva y la Ceja de Selva. Esta producción genera residuos agrícolas, como la cáscara de arroz, las cuales en su gran mayoría se queman. Las cenizas de cáscara se vuelven en un problema ambiental, ya que muchas son arrojadas a los ríos o llevados a rellenos sanitario para poder almacenarlos demandando un mayor gasto de un producto que no genera valor en la producción del arroz.

Por dichos motivos la siguiente investigación tiene por finalidad evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante adicionando ceniza de cascara de arroz y cal en distintos porcentajes, teniendo en cuenta que la ceniza de cascara de arroz será traída de la zona de Kosñipata, siendo factible, mejorando así la capacidad de soporte (CBR).

Ubicación Geográfica

Cusco es uno de los veinticuatro departamentos del Perú (y dos provincias), además al norte limita con la provincia de Calca juntamente con la provincia de Urubamba, al Este con la provincia de Quispicanchis, al Sur con la provincia de Paruro y al Oeste con la provincia de Anta.

- 📍 Departamento: Cusco.
- 📍 Provincia: Cusco.
- 📍 Distrito: Cusco.
- 📍 Urbanización: Kari Grande - Vía Rumi Wasi .
- 📍 Superficie: Total 617 km²
- 📍 Longitud de vía: 1km.
- 📍 Ancho de la Vía: 6.5 m.

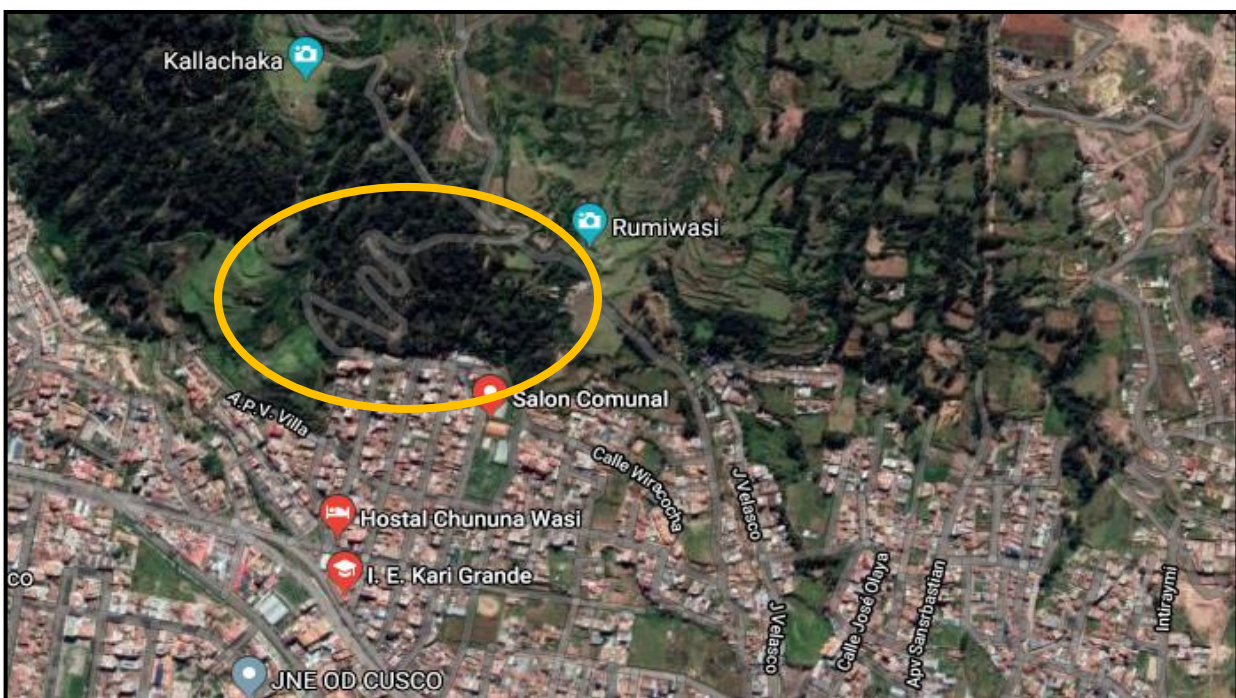


Figura 1 Ubicación Geográfica

Fuente: Google Maps

URL: <https://www.google.com/maps/@-13.5212317,-71.941974,21z>

Adaptación: Propia



1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Como varían las propiedades Físico-Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?

1.1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo varía el Limite Liquido, Limite Plastico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?
2. ¿Cómo varia la Densidad Máxima y la Humedad Optima de suelo, del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?
3. ¿En qué medida influye la adición de ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente, en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco?
4. ¿Cómo varia la Expansión del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco modificado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

Se necesita plantear nuevas alternativas que permitan el uso del suelo arcilloso para la construcción de carreteras en la Región Cusco; estabilizando y mejorando las propiedades de estos suelos que se usan para la conformación de subrasante.



El trabajo presentado de investigación tiene por finalidad aportar con el estudio de un aditivo químico que es soluble al agua que se utiliza para estabilizar la subrasante de un pavimento, evaluando las propiedades físico-mecánicas a nivel de subrasante del suelo, que se obtiene de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, estabilizado con ceniza de cascara de arroz (CCA) en distintos porcentajes y cal en un porcentaje constante.

Teniendo en cuenta que el trabajo de investigación servirá como apoyo para futuras investigaciones.

1.2.2. Justificación social

Se busca beneficiar con este trabajo en primer lugar a la población para que pueda haber un mejor desarrollo social y económico; luego a residentes, proyectistas, supervisores para que puedan emplear esta investigación en sus proyectos; finalmente a los profesionales de la Ciudad del Cusco y a los estudiantes de la Universidad Andina del Cusco ya que podrán encontrar información acerca de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante a nivel de suelo, estabilizado con ceniza de cascara de arroz (CCA) y CAL.

La investigación realizada es un aporte ya que mejora el soporte de carga del suelo (CBR), dando comodidad, seguridad, y un nivel adecuado de transitabilidad.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente tesis es aplicable, ya que se cuenta con los equipos necesarios para la investigación; la zona de estudio es totalmente accesible ubicado en Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián; respecto al material estabilizador que es la ceniza de cascara de arroz (CCA) se obtuvo de la zona de Kosñipata ubicado en la provincia de Paucartambo.

En cuanto al aspecto económico, es viable, debido a que los gastos pueden ser solventados, además se cuenta con Normativas y Manuales para la redacción de la investigación.

1.2.4. Justificación por Relevancia

El trabajo de investigación quiere dar a conocer el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de un suelo a nivel de subrasante, teniendo en cuenta que se dará mayor tiempo de vida



al pavimento, y de esta manera conocer el comportamiento del suelo ante la presencia de ceniza de cascarilla de arroz y cal en su consistencia.




1.3. Limitaciones de la Investigación

1.3.1. Limitaciones Geográficas

Geográficamente la tesis, está limitado en la Región del Cusco, utilizando material extraído de la zona de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante.




1.3.2. Limitaciones de Información

Esta investigación se limita al material extraído de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián para uso de subrasante, considerando los manuales, descritos a continuación:

-  Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos (2013).
-  Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).
-  Manual de Ensayos de Laboratorio (2016).

El aditivo a utilizar será estabilizador CCA y CAL, y su respectiva dosificación estará sujeto al incremento de este en el agua de mezcla

1.3.3. Limitaciones de Diseño

-  El aditivo a utilizar será CAL y CCA con una pureza de 86.80% de SiO₂.
-  La presente investigación se limita a la adición de CCA y CAL en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.
-  El estudio se limita a los resultados de los ensayos de: Límite Líquido, Límite Plástico, Proctor Modificado y CBR del material obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante.



1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades Físico-Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la variación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.
2. Analizar la variación de la densidad máxima y humedad óptima de suelo; del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.
3. Analizar comparativamente la ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente, en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco.
4. Evaluar la variación de la Expansión del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.



Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

Autor: Axel Franco Castro Cuadra

Título: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE”

Institución: Universidad Nacional De Ingeniería

Año: 2017

Resumen

Cada año en el departamento de San Martín la producción agrícola tiene como problema ambiental, incrementar gran cantidad de desechos orgánicos como la ceniza de cascara de arroz, se registra aproximadamente que en el año 2015 se forjó alrededor de 630,280 toneladas de cáscara de arroz, por lo tanto, se evalúa que queda 126,000 toneladas de ceniza de dicha cascara de arroz.

Se tiene que dar a conocer que, en dicho departamento, existen gran cantidad de suelos finos, los cuales no presentan buena capacidad de soporte (CBR), y esto hace inseguro a las estructuras que van a albergar cargas transmitidas al suelo y a la propia estructura del pavimento.

En la presente investigación, se usa la ceniza de cascara de arroz para estabilizar suelos arcillosos con una capacidad de soporte baja, teniendo en cuenta que es un buen aporte ya que se usa el residuo agrícola evitando la contaminación, para poder llegar a dicha conclusión de estabilizador, se hizo diferentes estudios en laboratorio evaluando las propiedades físico-mecánicas del suelo mezclado con ceniza de cascara de arroz en distintos porcentajes como estabilizador primario, también se hizo la mezcla de suelo, cal, y ceniza de cascara de arroz en distintos porcentajes como



estabilizador secundario, observando el incremento de sus propiedades y tener la conclusión si la ceniza de cascara de arroz se utilizara como agente de estabilizador primario o secundario.

Conclusiones

1. Se comprobó que la ceniza de cascara de arroz que se usa presenta un 95.1% de sílice en su estructura, por medio de la Difracción de Rayos X.
2. Realizando el análisis obtenemos que la materia orgánica encontrada en los materiales posee un valor por debajo del 3%, lo cual garantiza que pueden ser agentes para estabilizar.
3. La densidad seca máxima disminuyo mientras el contenido de humedad optimo aumento progresivamente al momento de realizar el ensayo de Compactación.
4. A media que se aumenta el contenido de ceniza de cáscara de arroz impide la expansión de suelo llegando a valores de 0% de expansión.

Autor: Robinson Jara Anyaypoma

Título: “EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE UN SUELO ARCILLOSO”

Institución: Universidad Nacional de Cajamarca

Año: 2014

Resumen

En la presente investigación se pudo observar y comprobar como la CAL ayuda de manera importante en la estabilización de un suelo arcilloso del acceso al centro comercial open plaza de Cajamarca.

Se realizó todos los ensayos necesarios para determinar la variación de sus propiedades físicas y químicas después de la adicción de la Cal en el suelo arcilloso. Para la investigación se definió trabajar con diferentes porcentajes de cal, 0%, 2%, 4% y 6%, en peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos de las Normas Técnicas. Los resultados obtenidos de esta evaluación de estabilización son muy notables, en el índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23



con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55.

Conclusiones

1. Se pudo determinar que la dosis óptima para estabilizar la subrasante de un suelo arcilloso es 4%.
2. Los valores del ensayo limite liquido disminuyeron añadiendo cal de 0%, 2%, 4% y 6%, teniendo su valor más bajo con cal al 4% con un 57.15.
3. Con el ensayo de limite plástico el valor aumentara a medida que se aumenta la cal, el valor más alto es con cal 4% obteniendo el valor de 47.60.
4. Se observa que el índice de plasticidad disminuye obteniendo un valor más bajo con el 6% con cal logrando un valor de 9.26. La muestra con cal al 0% tiene un índice plástico de 36.87. Por lo tanto, la disminución del índice de plasticidad será de 74.97%.

Autor: Mariella Macedo Flórez y Tiffani Valeria Moscoso Palomino

Título: “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE SUELO PROCEDENTE DE LA CANTERA DE ANAHUARQUE – SAYLLA UTILIZADO A NIVEL DE SUB BASE EN LA REGIÓN DEL CUSCO, ESTABILIZADO CON CO-POLÍMERO EN 0, 10%, 15%, 20%, 25% Y 30%.”

Institución: Universidad Andina del Cusco

Año: 2017

Resumen

El objetivo de la presente tesis es estudiar las propiedades físico-mecánicas del suelo proveniente de la cantera Anahuarque – Saylla para ser utilizado en la sub base de un pavimento flexible, usando aditivo químico como es el co-polímero.

La tesis se centra en los ensayos realizados en laboratorio de límite líquido, límite plástico, proctor modificado y capacidad portante, utilizando el Manual de Ensayos de Materiales (2016) y bajo las



Especificaciones Tecinas Generales para Construcción de Carreteras (EG2013) fue que se realizó la investigación.

La clasificación de suelo obtenida del ensayo en laboratorio es A-2-4 (0), GW-GP, y se usa el aditivo químico “co-polímero” en distintos porcentajes 0%, 5%,10%, 15%, 20%, 25% y 30% respecto al agua de mezcla es mezclado con el material procedente de la cantera de Anahuarque – Saylla para estudiar las nuevas propiedades físico-mecánicas que generan.

De los datos obtenidos en laboratorio, se deduce que las propiedades: del límite líquido, índice de plasticidad y densidad máxima del suelo incrementan insignificativamente, por otro lado, la capacidad portante incrementa significativamente cuando se le añade co-polímero a más del 40%.

Conclusiones

1. Se puede concluir que las propiedades físico-mecánicas del suelo usando el aditivo químico co-polímero incrementan entre el 15% - 25% con relación al agua de mezcla.
2. Con los respectivos ensayos en laboratorio, se demuestra que, el límite líquido será mayor progresivamente, el límite plástico disminuirá progresivamente y aumentará el índice de plasticidad, según se añada el aditivo químico del co-polímero.
3. Se concluye que la densidad de suelo tendrá un incremento a medida que se agregue más co-polímero en los porcentajes %, 5%,10%, 15%, 20%, 25% y 30%.
4. La capacidad portante del suelo añadiendo co-polímero entre los valores 15%, 20% y 25% aumentará un 15% más en relación al agua de mezcla.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

Autor: Iván Alberto Caamaño Murillo

Título: “MEJORAMIENTO DE UN SUELO BLANDO DE SUBRASANTE MEDIANTE LA ADICIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ Y SU EFECTO EN EL MÓDULO RESILIENTE”

Institución: Universidad Militar Nueva Granada.

Año: 2016



Resumen

El objetivo de la presente tesis es mejorar las propiedades físicas y geo mecánicas añadiendo ceniza de cascarilla de arroz a un suelo blando a nivel de subrasante ubicado en la vía de pedregal: Genoy – Nariño.

Su finalidad fue generar una capa de soporte más estable para la construcción a futuro de una obra de pavimento rígido o flexible, evaluando su comportamiento a través de los ensayos de Mecánica de Suelos.

Se Tuvo buenos resultados mejorando notablemente el módulo resiliente hasta en 4%, de la misma manera, la mejor opción es la del 4% de ceniza de cascarilla de arroz respecto a los límites líquido y plástico.

Conclusiones

1. El uso de ceniza de cascarilla de arroz contribuye a reducir los residuos agroindustriales que causa la producción de arroz y sus derivados.
2. El residuo agroindustrial genera un gran aporte en la resistencia inconfiada del material, aumentando esta variable en más de un 100% para el 4% de adición de ceniza de cascarilla de arroz en comparación con lo que se obtuvo en condiciones iniciales.
3. La ceniza de cascarilla de arroz ayuda a la reducción d plasticidad, que se ve reflejado en el aumento de la consistencia y su comportamiento físico-mecánico frente a una subrasante.

Autor: Leonardo Behak y Perez Nuñez

Título: “CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO POR SUELO ARENOSO, CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ Y CAL POTENCIALMENTE ÚTIL PARA SU USO EN PAVIMENTACIÓN”.

Institución: Universidad de la República de Uruguay

Año: 2017



Resumen

El objetivo principal del trabajo de investigación, es buscar mejorar las características físicas y mecánicas de las propiedades geo-mecánicas, de un suelo blando a nivel de subrasante mezclado con un aditivo químico que es la ceniza de cascarilla de arroz, logrando una capacidad de soporte que tenga más estabilidad para la conformación de la estructura de un pavimento.

En conclusión, mediante el ensayo triaxial cíclico se estudió el módulo resiliente de la ceniza de cascarilla de arroz, para lograr estructuras de pavimentos mejores y viables.

Conclusiones

1. El Mediante el estudio de diafractogramas de rayos x, se afirma que, culminado los 28 días de curación, la mezcla de los iones de calcio de la CAL y la sílice amorfa de la CCA son capaces de forman productos confortables, haciendo que sea estable el suelo arenoso.
2. Se obtuvo un CBR mayor al mezclar el suelo natural con CCA en 20% y CAL en 10%, con un curado de 28 días.
3. Se llega a la conclusión que la Resistencia a la Compresión Inconfinada ira creciendo mientras se aumente los aditivos de CCA y CAL juntamente con el tiempo de curación a 56 días, teniendo CCA en 20% y CAL en 10% su valor será de 256 kPa con un valor de curado de 56 días.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Suelo

2.2.1.1. Definición de Suelo

Alrededor del mundo, el suelo, viene a ser el material de construcción más requerido y siendo en muchos casos el único material disponible, miles de años atrás la tierra fue usada como material de construcción para vías de comunicación, monumentos, tumbas viviendas, y como estructuras que almacenan agua (Lambe & Whitman, 2004).



“En Ingeniería Civil, viene a ser el conjunto de sedimentos no consolidados de partículas sólidas, proveniente de la alteración de las rocas o de suelos transportados naturalmente: agua, hielo o viento, siendo el suelo un cuerpo natural heterogéneo” (Duque-Escobar & Enrique Escobar, 2016).

Al estudiar: las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material de construcción; estamos hablando de la Mecánica de Suelos aplicados a problemas geotécnicos; esta estructura del suelo puede ser estudiada in situ (natural) como un talud; o también un suelo utilizado de manera artificial o en cimentación (suelo como material de construcción), como un terraplén o relleno de una zona (Duque-Escobar & Enrique Escobar, 2016).

2.2.1.2. Origen del Suelo

Los suelos tienden a ser forjados por la descomposición y modificación física y/o química de las rocas madres (ígneas, metamórficas o sedimentarias), causadas por el intemperismo, modificando la composición y mineralogía, así como sus propiedades físicas y mecánicas a través del tiempo, son muchos los agentes físicos que ocasionan una gran variedad de cambios en las rocas, entre ellos figuran la temperatura, el viento, el agua y la humedad. Los agentes químicos que son partícipes de la transformación en las rocas son: la hidratación y la oxidación (Mata Montenegro, 2010).

2.2.1.3. Tipos de Suelos

Existe variedad de tipos de suelos, estos mismos son proceso del intemperismo, vale decir, que es producido por la fisura y quebramiento de variedad de rocas en trozos de tamaño menor a través de procesos mecánicos y químicos, ocasionando suelos residuales y suelos transportados (Mata Montenegro, 2010).

Suelos Residuales

Se denominan suelos residuales, a suelos que se localizan en el lugar donde se ocasiona meteorización o intemperismo, que a su vez forja desintegración mecánica y descomposición química (Mata Montenegro, 2010).

La mayoría de los suelos residuales se originan debido a que los residuos de la meteorización no son transportados como sedimentos, ya que estos se van juntando en el lugar que se originaron, las dos principales características de estos suelos es ser heterogéneo y poseer asentamiento (Mata Montenegro, 2010).

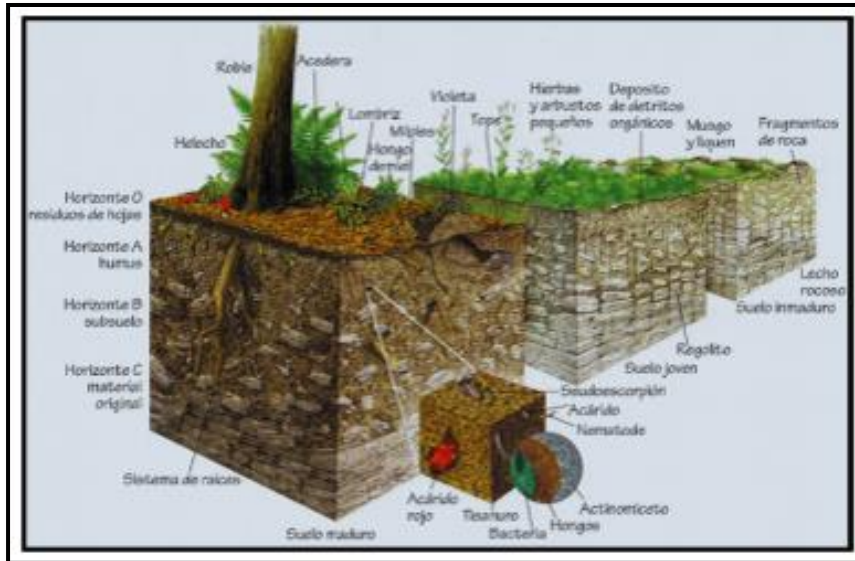


Figura 2 Estratigrafía de los Suelos Residuales

Fuente: Universidad de El Salvador

Suelos Transportados

Se denominan suelos Transportados a los suelos que fueron movidos o llevados por causa de la erosión eólica o fluvial de un lugar a otro desde su lugar de origen. Los agentes de transporte son distintos en la naturaleza, se pueden considerar los siguientes: glaciares, viento, ríos, corrientes de aguas superficiales, mares y fuerzas de gravedad. Esta descomposición y desintegración de las rocas origina un manto suelto y sin consistencia que se conoce comúnmente como regolito (Mata Montenegro, 2010).

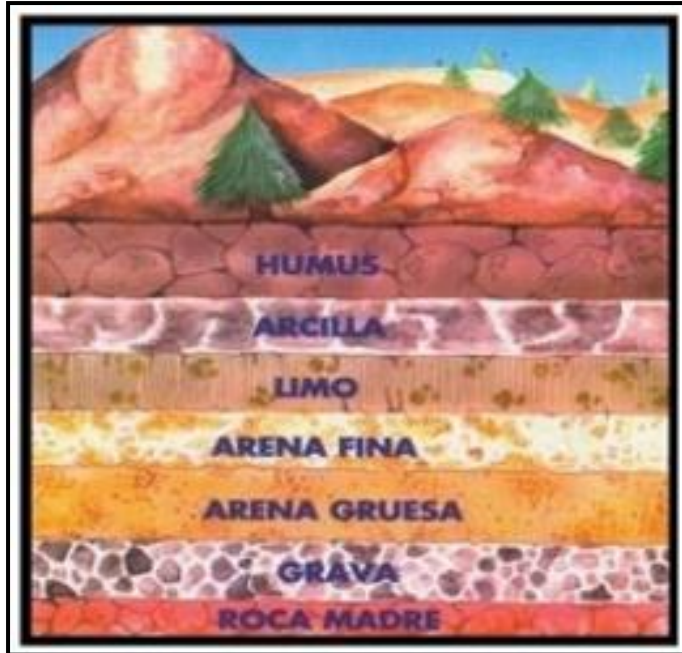


Figura 3 Suelos Transportados -Estratigrafía
Fuente: Universidad de El Salvador

2.2.1.4. Tamaño de las Partículas

Las partículas del suelo estarán dentro de un amplio rango según su tamaño. En la mayoría de casos se dice suelos a la grava, arena, limo o arcilla, según varíe la dimensión que prevalezca en las partículas y en el índice de plasticidad. Como se aprecia en la figura 4, para referir los suelos por sus partículas, se presentan los límites de dimensiones de suelo por apartado, presentado por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO) (Mata Montenegro, 2010).

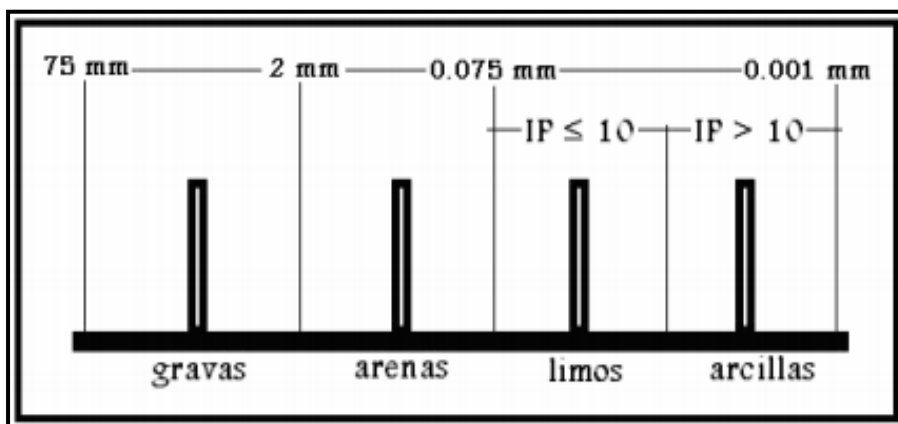


Figura 4 Rango de tamaño de las partículas del suelo
Fuente: Universidad de El Salvador

Las Gravas

Se dice al acaparamiento suelto de cascajos de roca con partículas de: cuarzo, feldespato y otros granos minerales, que varían en su tamaño pasando la malla de 3" (75 mm.) y son retenidas en la malla No. 10 (2 mm.) de diámetro. Cuando son conducidas por las aguas, conllevan una representación redondeada. Su procedencia puede estar en los lechos, márgenes y conos de deyección en los ríos, tanto en las depresiones de terrenos rellenados. (Mata Montenegro, 2010)

Las Arenas

Se denomina así, a las partículas finas compuestas de: cuarzo, feldespato y otros minerales, procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, sus tamaños pasan la malla No. 10 (2 mm) y son retenidas en la malla No. 200 (0.075 mm) de diámetro. El origen y la existencia de las arenas es análoga al de las gravas y las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Las arenas suelen estar limpias y no sufren ningún tipo de contracciones al secarse (Mata Montenegro, 2010).

Los Limos

Están representados por suelos que poseen granos demasiado finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas), que son fragmentos de minerales micáceos con escasa o ninguna plasticidad, pueden poseer orígenes inorgánicos como el generado en canteras o limo orgánico como el que se halla en los ríos. Los diámetros de las partículas son menores de 0.075 mm y un índice de plasticidad menor o igual a 10, además posee un color que se encuentra en el rango de gris claro a muy oscuro y su permeabilidad es baja (Mata Montenegro, 2010).

Las Arcillas

Generalmente provienen de partículas que poseen granos altamente finos con rasgos de: escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con diámetro menor a 0.075 ms., y un índice de plasticidad mayor que 10, poseyendo la capacidad de ser plástica al combinarlo con agua, químicamente es un silicato de aluminio hidratado, eventualmente encontrándose en su estructura silicatos de hierro o de magnesio hidratados (Mata Montenegro, 2010).



2.2.2. Pavimento

2.2.2.1. Definición de Pavimento

Al pavimento, se define como una estructura estratificada que se apoya en la parte superior de la sub rasante de cualquier vía, que conforman un conjunto de capas intercaladas en un sentido horizontal, la cual se diseña y construye según especificaciones técnicas con materiales apropiados y debidamente compactados; cumpliendo con la resistencia de los esfuerzos de cargas consecutivas que serán transmitidas por el tránsito durante el tiempo de vida del pavimento (Montejo Fonseca, 2002).

2.2.2.2. Características que debe reunir un pavimento

Se toma en cuenta las siguientes particularidades que debe reclutar un pavimento:

- ✉ Soportar acciones de las cargas impuestas provenientes del tránsito.
- ✉ Ser resistentes frente a los causantes del intemperismo.
- ✉ Debe presentar en la superficie una contextura que se adapte a las distintas ligerezas de los vehículos, por consiguiente, tiene influencia en la seguridad vial. Debe poseer tenacidad frente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos
- ✉ Debe ser duradero.
- ✉ Debe poseer escenarios apropiados en relación al drenaje.
- ✉ Debe poseer un sonido de rodadura moderado, así como exteriormente e interiormente en el vehículo para no incomodar al usuario.
- ✉ Debe ser económico.
- ✉ Debe presentar un color apropiado para impedir deslumbramientos y reflejos, ofreciendo una respectiva seguridad al tránsito

(Montejo Fonseca, 2002).



2.2.2.3. Factores a considerar en el Diseño

1. El Tránsito

Es un factor importante, ya que servirá para dimensionar los pavimentos, teniendo en cuenta el eje de los vehículos: simple, tándem, trídem; y el carril de diseño (se toma en cuenta el más requerido para el bosquejo de la estructura del pavimento), estimando un tiempo de vida útil (Montejo Fonseca, 2002).

2. La Subrasante

Se necesita evaluar la capa de la subrasante, según sean sus propiedades se definirá la dimensión del espesor que caracterizara al pavimento (rígido o flexible). Para ser posible esta evaluación se realiza el ensayo de CBR (laboratorio) para determinar la resistencia máxima del suelo sujeto a los esfuerzos cortantes transmitidos por las cargas del tránsito (Montejo Fonseca, 2002).

3. El Clima.

Se considera dos factores dentro del clima que afectan a la conducta de los pavimentos y el diseño: las lluvias y la temperatura. Las lluvias intervienen en la resistencia y compresibilidad del suelo a través de su presencia en el nivel freático. Los cambios climáticos afectan directamente al módulo de elasticidad de las capas asfálticas, según incremente o disminuya la temperatura, teniéndose en cuenta que en pavimentos rígidos el cambio de temperatura al ser mayor ocasiona esfuerzos mayores en dichas losas (Montejo Fonseca, 2002).

4. Los Materiales Disponibles

Se debe tener en cuenta la disposición de canteras y depósitos pluviales aledaños disponibles para la elaboración de la estructura del pavimento, proporcionando facilidades económicas y técnicas. En cuanto al análisis de costos unitarios, debe estimarse el riesgo del comportamiento del pavimento durante el tiempo de elaboración, el mantenimiento durante la vida del pavimento y futuros esfuerzos estructurales existentes (Montejo Fonseca, 2002).

2.2.2.4. Tipos de pavimento

Se dividen en: Flexibles, Semirrígidos y Rígidos, el comportamiento de cada tipo de pavimento varía al aplicarles cargas.

1. Pavimentos Flexibles:

Este tipo de pavimentos habitualmente está conformados por dos capas (base y subbase) que sostienen a la carpeta bituminosa, el comportamiento de la superficie de rodadura al tener menos rigidez ocasiona tensiones elevadas en la capa de la subrasante (Coronado Iturbide, 2002).

2. Pavimentos Semirrígidos:

Los pavimentos semirrígidos, tienen una estructura parecida al pavimento flexible, poseen una capa mezclada con aditivo (asfalto, cemento, emulsión, cal y químicos) para que sean artificialmente rigidizadas, a su vez mejora la capacidad estructural y aumenta la vida de servicio (Montejo Fonseca, 2002).

3. Pavimentos Rígidos:

Al contrario de los pavimentos flexibles, este tipo de pavimentos poseen en su estructura una losa a base de concreto hidráulico con características elevadas de coeficiente de elasticidad y rigidez. Será transmitida una repartición de cargas en dicha superficie de rodadura, originando bajas tensiones en la subrasante (Coronado Iturbide, 2002).

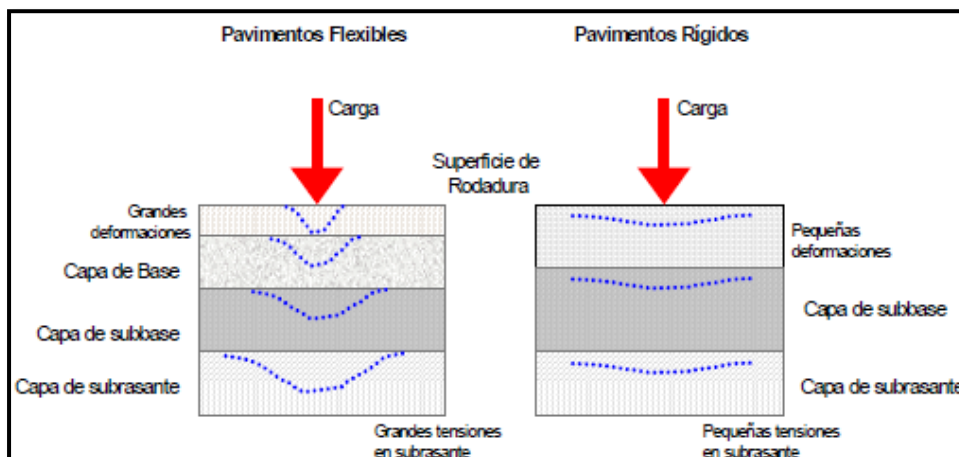


Figura 5 Comportamiento de Pavimentos Rígidos y Flexibles
Fuente: Coronado Iturbide, 2002

2.2.3. Ensayos Fundamentales de Suelos.

2.2.3.1. Determinación del Contenido de Humedad.

“El ensayo de contenido de humedad consiste en medir el contenido total de agua en un conjunto de volumen de suelo (tierra) en su estado seco” (Bowles, 1981).

2.2.3.2. Análisis Granulométrico de Suelos.

El objetivo principal del ensayo es distribuir las partículas de la muestra del espécimen (suelo) de acuerdo a su tamaño, para después ser clasificado a través de los sistemas AASHTO o SUCS. En su mayoría los criterios de conformidad tendrán que ver con la distribución granulométrica para que los suelos sean aceptables en bases o sub-bases que conforman según su requerimiento (carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc.). Para su mejor estudio de repartición de las partículas de suelo se utilizan tamices que están normalizados y que siguen una numeración correlativa de manera decreciente (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002).

Método de Análisis Granulométrico

Método del Tamizado.

Terminado el proceso de lavado y secado se procede a tamizar el material usando tamices ordenados de manera decreciente. Cuidadosamente se procede a sacudir de forma vertical y uniforme dando golpes horizontales (mecánicos o manuales), y finalmente se obtiene el espécimen atrapado en cada malla y se registra el peso (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002). (*Obsérvese la figura 6*).

Curva Granulométrica

Esta curva granulométrica esta graficada siguiendo los resultados obtenidos de los ensayos de tamizados y sedimentación. La fracción gruesa de suelo dentro denominaciones según el sistema que se detalla en la tabla 1.



Figura 6: Análisis Granulométrico por Tamizado
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 1 Designación de las partículas de acuerdo al sistema de clasificación

	BRITANICO₁ ϕ (mm)	AASHTO₂ ϕ (mm)	ASTM₃ ϕ (mm)	SUCS₄ ϕ (mm)
GRAVA	60 - 2	75 - 2	>2	75 - 4,75
ARENA	2 - 0,06	2 - 0,05	2 - 0,075	4,75 - 0,075
LIMO	0,06 - 0,002	0,05 - 0,002	0,075-0,005	< 0,075 FINOS
ARCILLA	< 0,002	< 0,002	< 0,005	-

Fuente: Universidad Nacional de Colombia
Adaptación: Propia

“Se dirá que los suelos finos tienden a tener el diámetro de una esfera y los suelos grueso-granulares el diámetro es más parecido al agujero cuadrado de la malla” (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 29).

“En geotecnia es de suma importancia realizar la clasificación, pero es necesario, complementar con la granulometría con el ensayo de Límites de Atterberg, que diferencian la plasticidad y consistencia de los finos en función del contenido de humedad” (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 29).

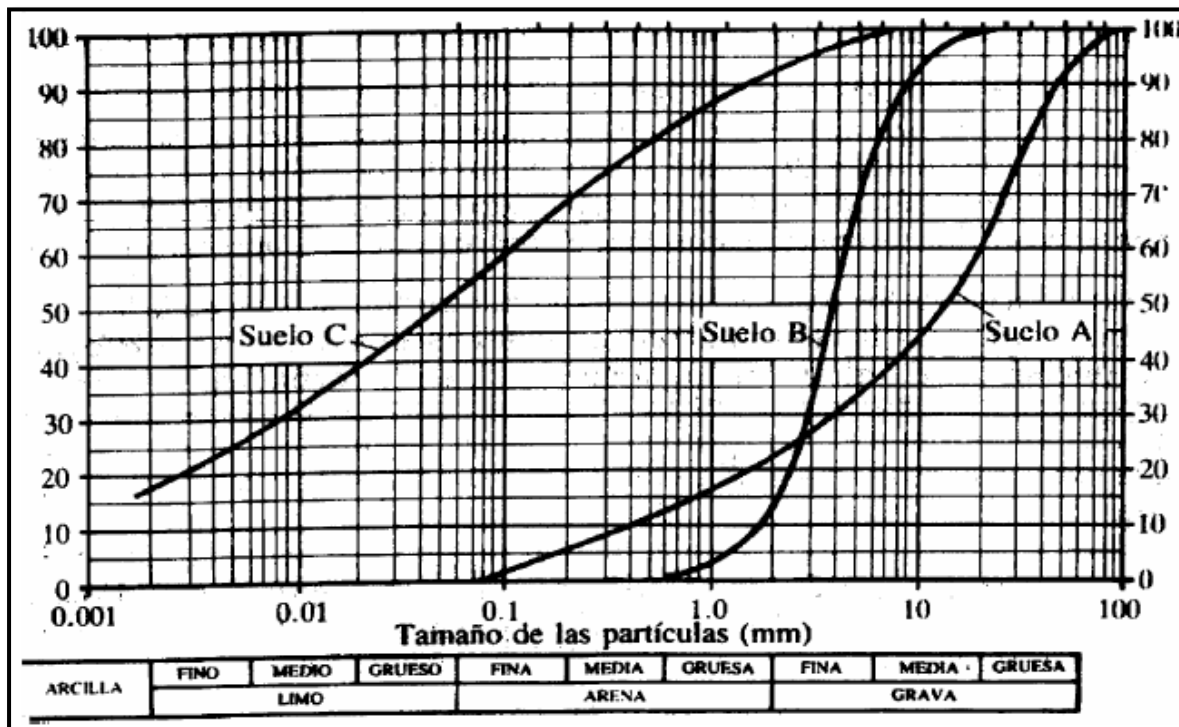


Figura 7 Curva Granulométrica

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

La curva A: Suelo bien gradado de grano grueso.

La curva B: Suelo mal gradado, poco uniforme (curva parada sin extensión).

La curva C: Suelo arcilloso o limoso (fino).

T-4 y T-200 = Tamices o mallas.

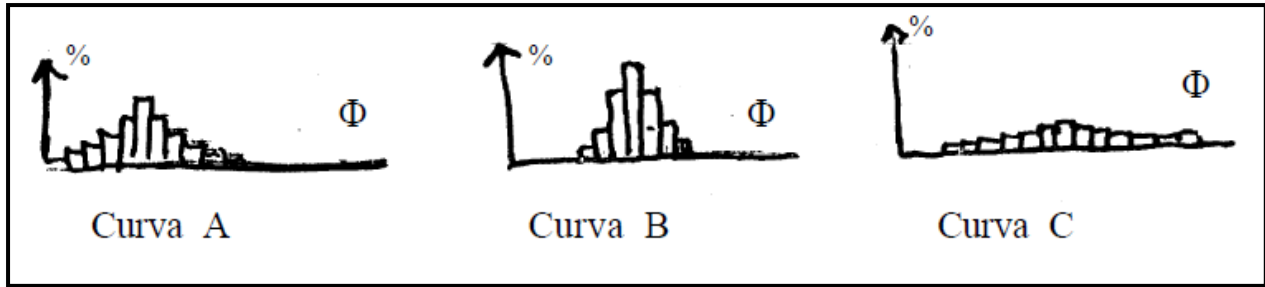


Figura 8 Distribución no acumulada de las frecuencias de los tamaños anteriores
 Fuente: Universidad Nacional de Colombia

Las dimensiones de las partículas cuentan con una curva de distribución que muestra si las dimensiones tienden a transformarse en una categoría extensa (Curva C) y estrecho (curva B) si esta categoría tiende a dimensiones elevados del suelo grueso (A) o a los mínimos del suelo fino (C). Cuando todas las dimensiones tienen simetría en peso relativamente iguales, la categoría es extensa y representa una curva suave, se dirá que el suelo está bien gradado (A y C). La mala gradación puede ser por falta de extensión (B) o por discontinuidad. En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, le da el coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} ; C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \rightarrow \text{bien gradado cuando } \begin{cases} C_u > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea C_u , mayor era el rango de tamaños del suelo. Los D_i , $i = 10, 30, 60$ son los tamaños ϕ de las partículas, para el cual $i\%$ del material es más fino que ese tamaño.

Figura 9 Coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

Adaptación: Propia

2.2.3.3. Límites de Consistencia

Plasticidad

El principal indicador para medir la plasticidad de las arcillas viene a ser el criterio de Atterberg, quien explica que la plasticidad en las arcillas está en función al contenido de agua existente, esquematizando en un bloque de arcilla, suponiendo que una arcilla que contenga poca agua en su estructura puede tener la firmeza de un ladrillo, y esa misma, presentando gran cantidad de agua

en su estructura, puede exhibir las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, la de una suspensión (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

Limite Líquido.

“Se denomina limite liquido cuando el suelo representa un contenido de humedad por debajo del cual este posee características de un material plástico. En este límite de contenido de humedad el suelo se encuentra en el extremo de cambiar sus características al de un fluido viscoso” (Bowles, 1981, pág. 16).

Entonces, se dice, que el contenido de agua que se posee en este límite, será la cantidad máxima para que el surco separador disgregue en dos mitades de pasta de suelo, buscando cerrar a lo largo de su fondo en una longitud de $\frac{1}{2}$ ”, cuando se deja desplomar la cuchara 25 períodos desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo (Bowles, 1981).

Limite Plástico

Hace referencia al momento en el que el suelo cambia de un estado plástico a un estado sólido y se destroza, este límite se precisa como el contenido de agua expresado en porcentaje del peso del suelo seco, se dice también que el contenido de agua que posee este límite es el más mínimo de agua al que el suelo pueda ser enrollado en hilos de 3.2mm sin que sufran destroce en su estructura (Bowles, 1981).



Figura 10 Materiales para realizar ensayos de LL y LP

Fuente: Imágenes de Google

URL:<http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/Determinacion%20del%20limite%20liquido.pdf>

Límite de contracción

“Conocido también como límite de retracción, dícese al de humedad por debajo del cual se genera disminución agregada de volumen o contracción en el suelo” (Bowles, 1981, pág. 16).



Figura 11 Estados del Suelo. Límites de Plasticidad

Fuente: Imágenes de Google

URL: <https://slideplayer.es/slide/8492579/>

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP elevado corresponde a un suelo muy arcilloso; por lo contrario, un IP bajo es característico de un suelo poco arcilloso. (MTC, 2014)

Se representa mediante la siguiente formula:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP: Índice de plasticidad
- LL: Limite liquido
- LP: Limite plástico

Tabla 2 Clasificación de suelos según índice de plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: *Manual de Carreteras – Suelos, Geología y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos*

2.2.3.4. Clasificación de Suelos

La clasificación de suelos, dícese a la taxonomía en función a su comportamiento, agrupando y correlacionando propiedades bajo la tutela de un sistema de clasificación. Dicha clasificación permite identificar la granulometría y plasticidad de los suelos. Además, la curva granulométrica y los límites de Atterberg son de gran importancia al momento de clasificar un suelo ya que están involucrados en la alteración del suelo, se tiene dos tipos de clasificación más usados AASHTO y SUCS (Duque-Escobar & Enrique Escobar, 2016).

1. Índice de Grupo.

Se representa mediante un valor entero positivo, que esta normado por AASHTO para poder clasificar a los suelos, este valor esta entre el rango de: 0 – 20 o más, se tiene que tener en cuenta que un valor negativo se asume como cero; siendo cero el valor de un suelo muy bueno y caso contrario cuando toma un valor de 20 o más (MTC, 2014).

Tabla 3 Clasificación de suelos según índice de grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2. Clasificación SUCS

Este tipo de sistema discrimina en 2 conjuntos importantes: gruesos y finos, de acuerdo a los que pasan por el tamiz N° 200. Los suelos que en su estructura contienen grano grueso se fraccionan en gravas y arenas de acuerdo estos pasen por el tamiz N° 4 serán clasificadas (las gravas y arenas) de acuerdo al porcentaje de finos q presentan (% del pasante por el tamiz N° 200) en limpias y secas. (Márquez Javier, 2006, pág. 15)

Tabla 4 Simbología de suelos según SUCS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos y arcillas
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien gradados
P	Mal gradados

Fuente: (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

Adaptación: Propia

Para poder establecer los símbolos de grupo que presentan los tipos de suelo, es necesario contar con la carta de plasticidad y esquema, la manera correcta de representar es facilitar el nombre del grupo que caracteriza primordialmente al suelo, junto con el símbolo correspondiente. (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 37)

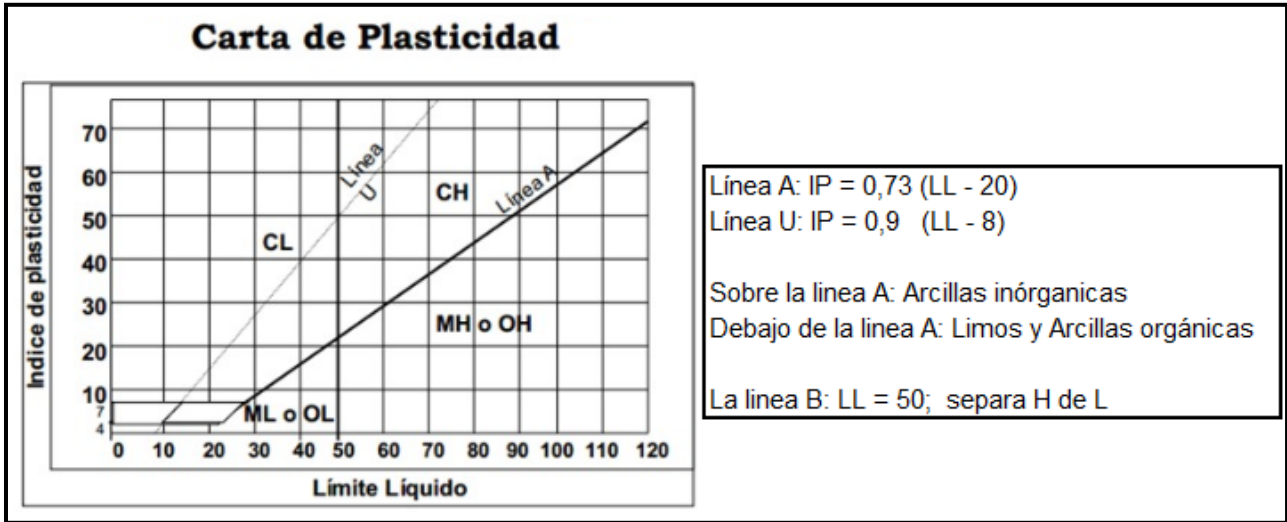


Figura 12 Carta de Plasticidad

Fuente: (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

Adaptación: Propia

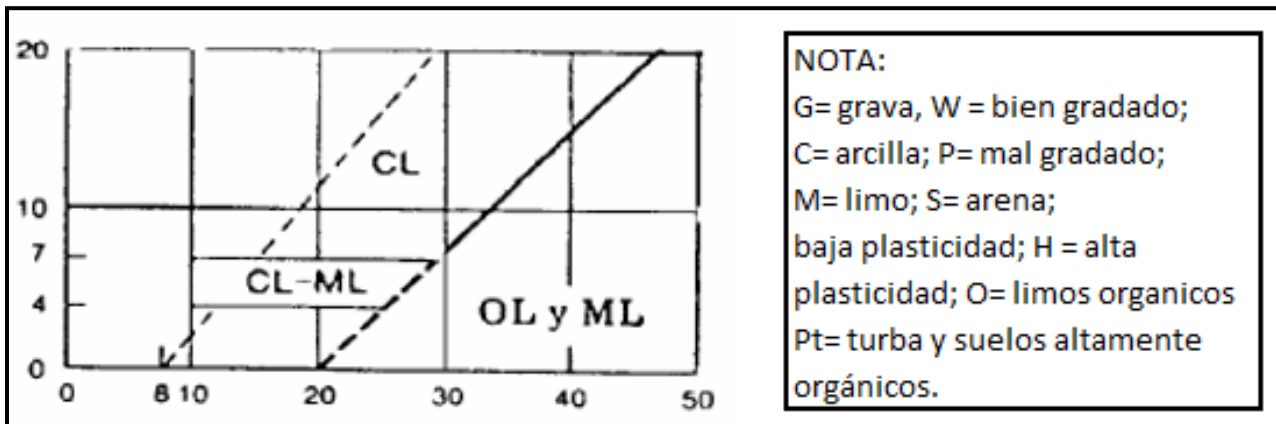


Figura 13 Detalle de la clasificación en la zona de $LL < 60$ y $IP < 10$

Fuente: (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

Adaptación: Propia

Tabla 5 Características y uso de los Suelos

Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Bajo	--
					Muy bajo	---

Fuente: Mecánica de Suelos. (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

3. Sistema de Clasificación AASHTO

Este método se dio a conocer en 1929, comúnmente usado para explanaciones de caminos y carreteras; los cuales se clasifican de distinta manera en ocho grupos tomando en cuenta la distribución granulométrica, el límite líquido e índice de plasticidad. Empezando con A-1 y así sucesivamente terminando en A-8. Los materiales de grano grueso abarcan los grupos: A-1, A-2 y A-3; los materiales de grano fino abarcan: A-4, A-5, A-6 y A-7; por otra parte los materiales contenidos de turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos abarcan el grupo A-8, en la siguiente tabla se muestra la Clasificación AASHTO (Manual de Ensayo de Materiales, 2016).


Tabla 6 Clasificación de Suelos, según AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤ 50										
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: Imágenes de Google


URL: <https://image.slidesharecdn.com/manualdecarreteras2-160321184436/95/manual-de-carreteras-2-26-638.jpg?cb=1458586104>

“Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12):” (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 39).

 Grueso granulares: 35% o menos pasa el T-200 comprende:

- A-1, si menos del 20% pasa el T-200 y menos del 50% pasa el T-40.
- A-2, si menos del 35% pasa el T-200, (limoso o arcilloso).
- A-3, si menos del 10% pasa el T-200 y 51% o más pasa el T-40.

(Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 39)

 Suelos Fino Granulares (grupo limo arcillas): más del 35% pasa el T – 200

- A-4 si IP ≤ 10 (limo) y LL ≤ 40%.
- A-5 si IP ≤ 10 (limo) y LL ≤ 41%.
- A-6 si IP ≥ 11 (arcilla) y LL ≤ 40%.

- A-7 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 41\%$.

(Duque Escobar & Escobar Portes, 2002, pág. 39)

Tabla 7 Características de los Suelos – según AASHTO

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	--	---	--	.	++	++	++	+++ Sobresaliente.
A-2	.	++	+	m	.	M	+	++ Muy alto.
A-3	+	.	--	.	+	+	+	+ Alto.
A-4	.	+	+-	+++	.	.	+-	m Moderado.
A-5	.	m	++	+++	---	.	--	- Deficiente.
A-6	---	.	++	++	--	--	.	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

Fuente: (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

2.2.3.5. Compactación de Suelos – Proctor Modificado

El método proctor modificado, establece la analogía entre 2 valores: contenido de agua y peso unitario seco, usando un martillo de 44,5 N (10lb) que se compacta dentro de un molde de 101,6 mm o 152,4 mm (4 o 6 pulgadas) de diámetro; cayendo una distancia de 457 mm (18 pulgadas), provocando una Energía de Compactación de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/pie³). (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 105)

Este ensayo solamente se emplea solo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de ¾” pulgadas (19,0 mm). Se debe tener en cuenta que el método determinado será adaptable dentro de las especificaciones para el espécimen ensayado. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 105)

“Se proporciona 3 métodos electivos. Esta técnica debe ser conveniente en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está explícito, la elección tendrá fundamento en la gradación del material”. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 105)

Tabla 8 Métodos usados para en el Ensayo de Proctor

MÉTODO A	
Molde	101,6 mm (4pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4,75mm)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4)
Otros Usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimiento de gradación pueden ser ensayados usando el método B o C.
MÉTODO B	
Molde	101,6 (4pulgadas) mm de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/8" pulg (9,5mm)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (3/8" pulg).
Otros Usos	Si el método no es especificado y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando el método C.
MÉTODO C	
Molde	152,4 mm (6 pulgadas) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 3/4" pulg (19,0 mm)
Numero de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (3/8" pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4" pulg).
Otros Usos	Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no se drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método se Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2013

Adaptación: Propia.

2.2.3.6. Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR).

Terminada la clasificación de suelos por los dos sistemas mencionados, se procede a ejecutar los respectivos ensayos para determinar el CBR, que determina un número de relación de soporte mencionado en porcentaje, que viene a ser la analogía entre la carga unitaria requerida para que un pistón penetre el suelo y la carga unitaria necesaria, para que dicho pistón penetre a la semejante altura de hondura una muestra con características de piedra despedazada. El CBR hace referencia al 95% de la Máxima Densidad Seca a una penetración de carga de 2.54 mm, los ensayos realizados estarán bajo la tutela de las normas ASTM D698-70 o D1557-70 (Bowles, 1981).

Tabla 9 Clasificación de la Subrasante de acuerdo al CBR

CATEGORIAS DE SUBRASANTE	CBR
SO: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	de CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	de CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	de CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	de CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Adaptación: Propia.

Lo indicado a continuación tiene que estar sujeto a la evaluación de la Ingeniería Geotécnica, dichos discernimientos de la preparación de la muestra de prueba juntamente con los materiales cementados, adquieren resistencia a medida que avanza el tiempo. Se procura que estos materiales cementados se curen inmediatamente bajo supervisión hasta que se pueda evaluar la relación de soporte que simbolizan las circunstancias de servicio a largo plazo. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248)

“Para determinar el CBR de la subrasante, capas de base, subbase y afirmado; se requiere el uso de este índice” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, pág. 248).

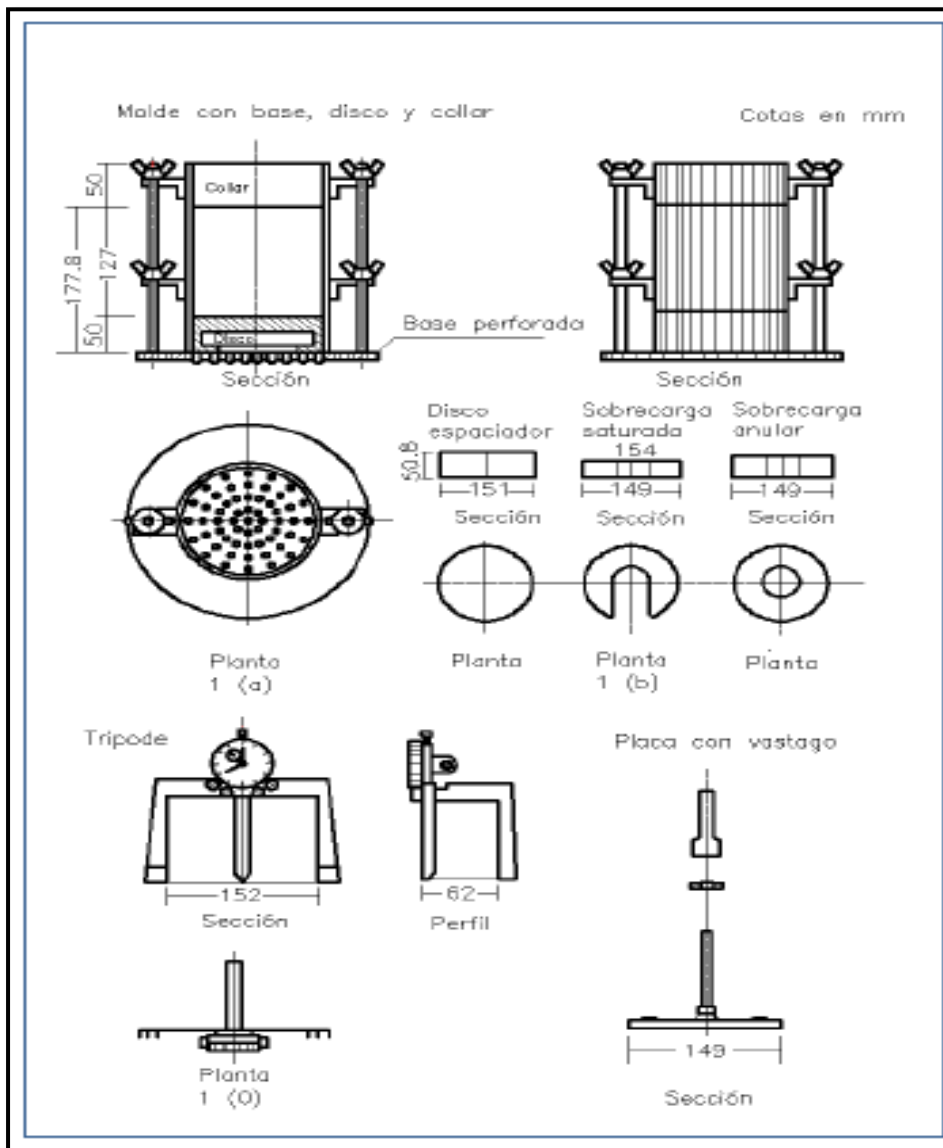


Figura 14 Aparato de CBR

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2013

2.2.4. Estabilización de Suelos

La función principal al estabilizar un suelo, es mejorar las propiedades físicas que posee éste, esto se puede realizar utilizando procedimientos mecánicos y asistencia de productos químicos, naturales o sintéticos. Normalmente esta estabilización se da en suelos que poseen una subrasante pobre o inadecuada. El objetivo primordial al estabilizar un suelo es aumentar la resistencia mecánica consiguiendo un incremento de la durabilidad de dicha capa en el tiempo (MTC, 2014).

“Se establece que la estabilización del suelo, será la corrección de la insuficiencia para lograr una mayor resistencia al terreno, a su vez bajando el índice de plasticidad. A continuación, se describe algunas propiedades resaltadas de la estabilización:” (Fernández Loaiza, 1991).

- ✎ Resistencia: Dícese al aumento de firmeza frente a la estabilidad y la capacidad de carga.
- ✎ Estabilidad del volumen: Se denomina al suministro de inspección de los procesos de hinchamiento – colapso, causado por los cambios de humedad.
- ✎ Durabilidad: Una mayor durabilidad proporciona mayor firmeza a la erosión, reacciona de mejor forma a las transformaciones climáticas y a la usanza de tráfico.
- ✎ Permeabilidad: Cabe recalcar que necesita haber una disminución de la permeabilidad, así como el transporte del agua, mejora la estabilidad.

(Fernández Loaiza, 1991)

Los suelos que presenten un $CBR \geq 6\%$ se encuentran dentro del grupo apto para ser utilizados en las capas de la subrasante, caso contrario, serán estudiados para su futura estabilización, los que en su mayoría tienden a estabilizarse son: las arcillas, los limos, las arenas limosas o arenas arcillosas; entonces para determinar algún ejemplo de estabilización es requisito para establecer el tipo de suelo (MTC, 2014).

Los factores que se consideraran al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- ✎ Tipo de suelo a estabilizar.
- ✎ Uso sugerido del suelo estabilizado.
- ✎ Tipo de aditivo estabilizador de suelos.
- ✎ Práctica con el tipo de estabilización que se empleara.

🦅 Recurso del tipo de estabilizador.

🦅 Costos comparativos.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 109)

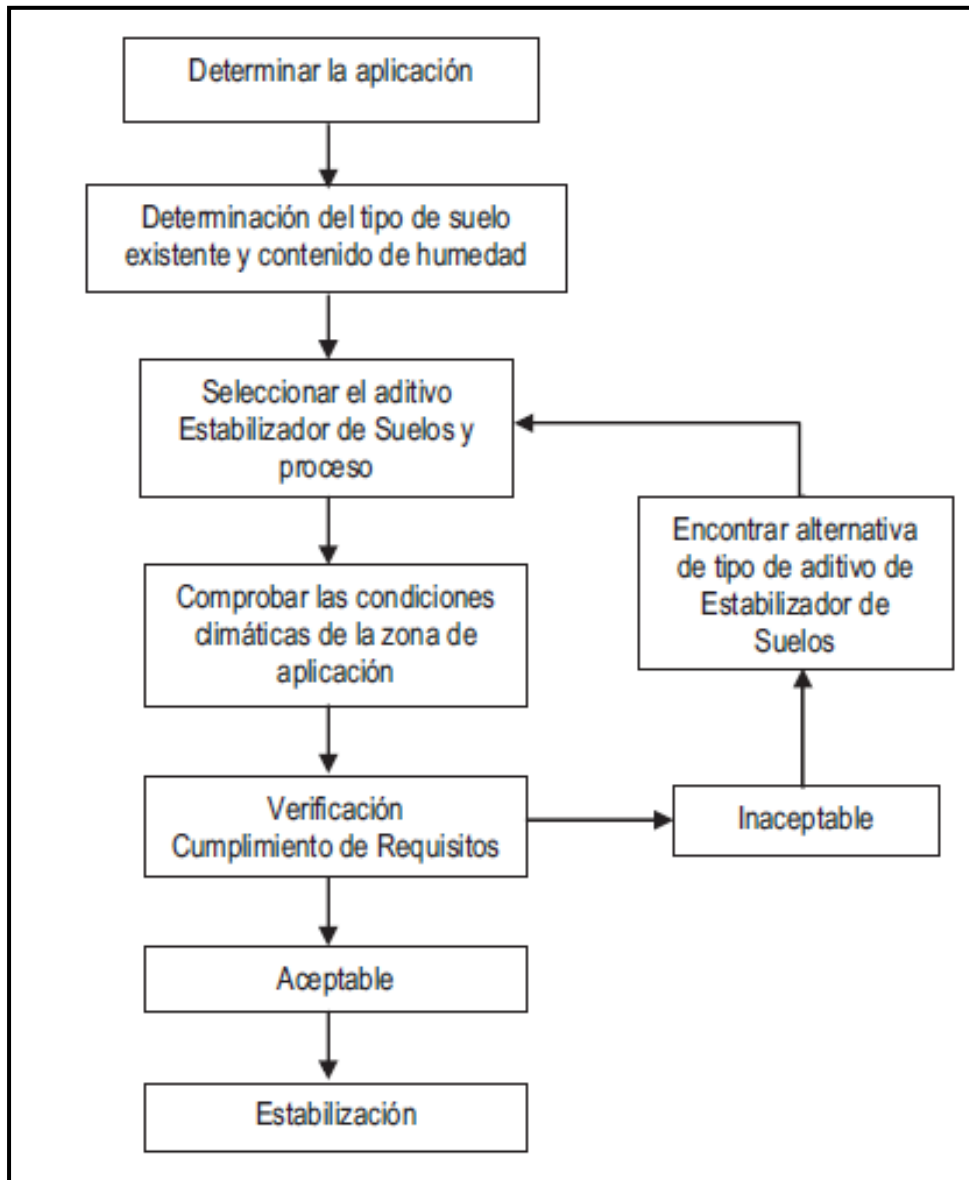


Figura 15 Proceso de selección del Tipo de Estabilización

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2013*



2.2.4.1. Tipos de Estabilización

4. Estabilización Mecánica

Lo más importante de la estabilización mecánica es optimizar el material del suelo natural, sin necesidad de alterar la estructura o elaboración elemental de este. El principal instrumento para perfeccionar se emplea la compactación, buscando minimizar el volumen de huecos existentes en el suelo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 113).

5. Estabilización Granulométrica

Este tipo de estabilización se usa bastante, se tiene que tener en cuenta que por su propia cuenta no logra estabilizarse, se necesita de una compactación. Cuando los suelos poseen granos gruesos así como las gravas-arenas, poseen alta fricción dentro de su estructura que alcanza aguantar mayores dificultades internas; se tiene que tener en cuenta que esto no hace seguro la carretera porque al poseer alta cohesión esto hace que se muevan con total libertad, a comparación de las arcillas estas poseen alta cohesión y muy baja fricción, esto hace que al momento que se produzca humedad pierdan estabilidad (Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2008).

6. Estabilización por Sustitución de Suelos

Al estabilizar por sustitución, se suscitan dos casos, en el primer contexto se implementa el mejoramiento sobre el suelo natural, previamente este suelo tendrá que ser escarificado y compactado con una altura de profundidad aproximada de 15 centímetros, para luego ser colocado los respectivos materiales con los espesores que aseguren el nivel de la subrasante; el segundo contexto se refiere a la extracción total del suelo natural existente con un material que mejore para después compactado hasta llegar al nivel de subrasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

7. Estabilización con Cal

Esta estabilización está conformada principalmente por suelo, cal y agua. La cal que se pone en práctica, es la cal viva, que está constituida en su estructura por óxido de calcio que es producto de la calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal apagada), cuando se une el suelo con



la cal inmediatamente se obtiene una reacción inmediata de floculación y permutación iónica (Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2008).

La cal se puede utilizar para estabilizar:

- ✉ Subrasante - Subbase: Con el fin de mejorar la subrasante o la subbase, se obtiene una capa que posee un valor admisible para los parámetros de la estructura del pavimento, los suelos que servirán como estabilizante no necesariamente serán del lugar. Usualmente se emplea la adición de cal en un rango de 3% - 6% y casi siempre la mezcla es in situ (La Asociación Nacional de Cal, 2006).
- ✉ Base: La estabilización de base es empleada para la construcción, reconstrucción de caminos, y usualmente se agrega de 2% a 4% de cal. Además la cal mejora materiales que insatisfechen las peculiaridades adecuadas para conformar una base (La Asociación Nacional de Cal, 2006).

Las propiedades que se obtienen después de una estabilización con cal son las siguientes:

- ✉ Disminución del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y una mejora del límite plástico
- ✉ Disminución enorme del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas
- ✉ Elaboración de un material más manejable y fiable como fruto del descenso del contenido de agua en los suelos.
- ✉ La cal cumple la asistencia de secar los suelos húmedos lo que apresura su compactación
- ✉ Descenso significativo del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento
- ✉ Aumento de la firmeza a la compresión simple de la mezcla, después del tiempo de curado sujeto en cualesquiera sean los eventos, hasta un 40% de aumento.
- ✉ Aumento de la capacidad portante del suelo (CBR)
- ✉ Aumento de la resistencia a la tracción del suelo.
- ✉ Alineación de barreras impermeables, impidiendo la penetración de aguas de lluvia o a la elevación capilar de aguas subterráneas.

(La Asociación Nacional de Cal, 2006)



8. Estabilización con cemento

Este tipo de estabilización es producto de la unión de cemento con agua, para después ser compactada y curada, obteniendo que el material suelto se endurezca y sea más resistente, recalcando que la mezcla suelo-cemento frente al concreto es inferior en el módulo de elasticidad y resistencia (Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2008).

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- ✂ Tipo de suelo, cemento y agua.
- ✂ Cantidad de suelo, cemento y agua.
- ✂ Cumplimiento.
- ✂ Tiempo de la mezcla compactada y tipo de curado.

(Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, 2008, pág. 160)

9. Estabilización con Escoria

La escoria es utilizada en casi todo el mundo, ya sea en la elaboración del cemento, en subbase de pavimentos, estabilización de subrasantes o conformando parte del ligante bituminoso de una carpeta asfáltica. De manera que, al emplear este beneficio en la construcción de infraestructura vial, se elude el aprovechamiento de canteras recientes, disminuyendo el desprendimiento de CO₂ al medio ambiente. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 119)

10. Estabilización con Cloruro de Sodio

La composición que presenta, es en forma de cristales, que se diluyen ágilmente en agua, comúnmente conocido como sal viene a ser un estabilizante natural, que se utiliza como controlador de polvos en bases y superficies de rodadura para tránsito liviano, posee la propiedad de ser higroscópico que su función principal es aspirar la humedad del aire, minimizando la evaporación y optimizando la cohesión del suelo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).






11. Estabilización con Cloruro de Calcio

Tiene casi las mismas características del Cloruro de Sodio, su dosificación más frecuente viene a ser de 1% - 2%, a diferencia que aporta al transcurso de la compactación y ayuda a mejorar la firmeza del suelo, además evita el desmoronamiento de la superficie y no permite los efectos negativos del polvo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

12. Estabilización con Cloruro de Magnesio

Al igual que el Cloruro de Sodio su presentación es en representación de cristales con un color blanco, al contrario del Cloruro de Calcio, éste forma una superficie de rodadura más firme ya que aumenta la tensión superficial, dentro de su composición química el cloruro está conformado por: 52% de agua, 33.5% de cloro, 10.5% de magnesio, 33.5% de cloro, y un 4% de impurezas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

Para el empleo vial se muestra las siguientes propiedades:

-  Higroscópica
-  Altamente soluble en agua
-  Resistente a la evaporación
-  Ligante
-  Baja temperatura de congelamiento

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 122)

13. Estabilización con Productos Asfálticos

Generalmente estos productos asfálticos son usados en emulsiones asfálticas y asfaltos con una viscosidad promedio, la dosificación tendrá que ver con la granulometría que presente el suelo para luego elegir el ligante a usar, la mezcla se hará casi siempre in situ. El incremento de la estabilidad y la impermeabilización del suelo serán las propiedades que atribuyen al suelo estos productos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

14. Estabilización con Productos Químicos

Más conocido como estabilizador químico, es una tecnología que tiene por función optimizar al suelo tratado mejorando sus propiedades iniciales que puede ser en el período de fabricación y/o en el periodo de utilidad. Estos estabilizadores resultan de la elaboración de productos químicos u orgánicos que también pueden adicionarse a las capas de afirmado, para mejorar el suelo, entre otros (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014).

“Los efectos que podrían ocasionar al momento de utilizar estabilizadores químicos son en diversas propiedades que posee el suelo, juntamente dependiendo del tipo de suelo y restricciones de la utilización del estabilizador químico.” (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014).

La norma sugiere que las propiedades sean evaluadas en el terreno, para verificar la función del estabilizador químico antes y después de su uso, con la finalidad de conocer la durabilidad de dicha estabilización química. Se debe tener en cuenta que todo estabilizador químico tiene que poseer un Manual Informativo, donde se mencione los potenciales peligros para la gente y el medio ambiente, también debe contar con una Hoja de Seguridad de Productos químicos (HDS) y con una Hoja de Datos de Seguridad para transporte (HDST) (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014).

Tabla 10 Ensayos y Frecuencias de suelo estabilizado con productos químicos

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Suelo Estabilizado con Cal	Granulometría	MTC E 107	750 m ³	Pista
	Índice plástico	MTC E 111	750 m ³	Pista
	Relación Densidad-Humedad	MTC E 115	750 m ³	Pista
	CBR	MTC E 132	500 m ³	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	Cada 250 m ³	Pista
	Abrasión	MTC E 207	2.000 m ³	Cantera
	Materia orgánica	AASHTO T 194	2.000 m ³	Cantera
	Durabilidad (2)	MTC E 209	2.000 m ³	Cantera

Fuente: EG - 2013



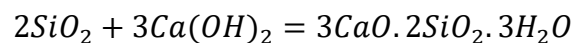
15. Estabilización con ceniza cascara de arroz

Se realizaron diferentes estudios para la estabilización del suelo, usando residuos agrícolas, generalmente después del proceso de combustión, una de estas es la ceniza de cascara de arroz. La característica principal de la ceniza de cascara de arroz es que posee en su estructura propiedades puzolánicas, estas propiedades dependerán del incineramiento o de la combustión destructiva que haya sufrido la cascara de arroz, principalmente de la condición de temperatura y duración (De la Pared Condo, 2013).

La estabilización de suelos con ceniza de cascara de arroz, es un tema novedoso que se esta implementado en los últimos años, existe variedad de temas de investigación que han aplicado este tipo de estabilización, dando resultados favorables en cuanto se habla a la disminución del índice de plasticidad, aumentando el contenido optimo de humedad y aumentando la capacidad de soporte del suelo.

La ceniza de cascara de arroz al mezclarse con el hidróxido de calcio, este reacciona a temperatura ambiente formando unidades cementantes, por lo tanto, se obtienen reacciones puzolánicas dando nacimiento a materiales más resistentes, menos deformables y más durables; la principal ventaja de estas reacciones puzolánicas es que a medida que el tiempo avanza incrementan la resistencia (Behak & Perez Núñez, 2008).

Esta reacción se esquematiza de la siguiente manera



Afirmando que el uso de la ceniza de cascara de arroz mediante la explotación de sus propiedades puzolánicas inherentes, será una forma más efectiva de responder a la problemática ambiental y la eliminación de la ceniza usando como estabilizador de un suelo.



2.2.5. Ceniza de Cascarilla de Arroz

2.2.5.1. La cascarilla de arroz (CA)

Científicamente nombrada Orizac Sativa, vulgarmente conocida como planta de arroz, forma parte de la familia de las gramíneas, está formada por cuatro unidades primordiales: el germen, el endospermo, la cutícula y la cascara o la pajilla. Constituyendo el endospermo cerca del 70% de volumen del grano que forma parte del final del proceso el arroz blanco, la cutícula o polvillo constituye un 6.8% en volumen en el grano de arroz y es empleado como alimento para animales por su elevado contenido de grasas, finalmente la cascarilla, abarca el peso del grano alrededor de 20% y es apartado para el desarrollo de pilado causando verdaderas montañas de cascarilla de arroz, fomentando problemas de área para el acopio de este desecho orgánico. (Sierra Aguilar, 2009, pág. 28)

Se dice que es un desecho agro-industrial la cascarilla de arroz, ya que genera colosales masas en zonas de siembra y se transforma el arroz, una de las maneras de aprovechar este desecho es usarlo como fuente de silicio para la producción de silicatos de calcio; estos mencionados silicatos de calcio son usados en la producción de ladrillos conformados de cal y también es usado como material de relleno en industrias de pinturas y plásticos. (LLamoga Vásquez, 2016, pág. 26)

2.2.5.2. La ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA)

En el Perú se siembran alrededor de 400 hectáreas de arroz, siendo el promedio nacional de 8 toneladas por hectárea, obteniéndose casi 3 millones de toneladas de cascara de arroz. Como efecto de esta elaboración, aproximadamente se logra cuatrocientos mil toneladas de cascarilla de arroz como restante, este desecho por medio de un desarrollo de incineramiento moderado da nacimiento alrededor de cien mil toneladas de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con un elevado contenido de sílice, transformándose así, en una opción potencial para su utilidad en la industria de la construcción, reconociendo sus características puzolánicas y sus elevados recursos en todas partes del planeta. (Agencia Agraria de noticias, 2013)

La característica más significativa de la CCA, es su capacidad de sílice elevada la cual responde con la cal, generando la aparición de cristales de silicato de calcio hidratado, que aportan a formación de resistencias en los concretos adicionados. La CCA en circunstancias de incineración

controlada se utiliza como material para adquirir sílice de características amorfa y darle uso como puzolana, esta incineración produce la desaparición de la materia orgánica y deja un residuo rico en sílice, esta temperatura de incineración estará alrededor de los 500°C – 900°C (Juárez Quevedo, 2012).

2.2.5.3. Caracterización de la cascara de Arroz

Presenta una solidez quebradiza, abrasiva con color variado del rojizo-pardo al oscuro-púrpura, posee una densidad mínima, al apilarse invade inmensas plazas, tiene un peso específico de 125kg/m³, el 54% de su estructura está conformado por un volumen poroso y presenta un coeficiente de conductividad térmica que sirve como aislante y su valor es de 0.0330 W/m k, la ceniza de cascara de arroz es dañina para el medio ambiente ya que presenta un alto contenido de sílice en su estructura (20%) (Varón Cemargo, 2005).

Tabla 11 Composición química de la cascarilla de arroz

CÁSCARA DE ARROZ	
COMPONENTE	%
CARBONO	39.1
HIDRÓGENO	5.2
NITRÓGENO	0.6
OXIGENO	37.2
AZUFRE	0.7
CENIZAS	17.8

Fuente: (Varón Cemargo, 2005)

Adaptación: Propia

2.2.5.4. Propiedades físicas de la ceniza de cascarilla de arroz

La sílice será mayor al 90% cuando las cascara de arroz estén en combustión en hornos industriales, caso contrario sean quemados en campo abierto las cenizas contendrán sales cristalinas menos reactiva; por otro lado, la ceniza de cascara de arroz en su composición tendrá: magnesio, fosforo, calcio, boro y hierro (Peña Sterling & Euguez A., 2001).

Una de las características principales de la CA, viene a ser su poder calorífico como se puede observar en tabla 12, ya que influenciara en la energía que se gasta al momento de calcinar y obtener la sílice dependiendo de la humedad con la que se encuentre el material. (Allauca, Amen, & Lung, 2009)

Tabla 12 Propiedades de la ceniza de cascarilla de arroz

PROPIEDADES	VALOR
Densidad	2.265 gr/cm^3
Masa unitaria compactada	0.452 gr/cm^3
Masa unitaria suelta	0.181 gr/cm^3
Superficie específica	200 m^2/kg

Fuente: (Peña Sterling & Euguez A., 2001)

Adaptación: Propia

2.2.5.5. Propiedades Químicas de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

Las propiedades químicas de la cascarilla de arroz que estamos evaluando contiene un elevado porcentaje de sílice (SiO_2), que tiene un valor de 86.80 %, esta variación de contenido de sílice va a depender del lugar de extracción y tipo de arroz que se tenga, nuestro porcentaje elevado de sílice cumple con las características adecuadas para la construcción. Véase la tabla 13.

Para obtener la ceniza de cascarilla de arroz; la cascarilla de arroz será extraída del Valle de Kosñipata, ubicado en Kosñipata, distrito de Paucartambo y ubicado al sureste de la Ciudad del Cusco. Véase Figura 16

Tabla 13 Contenido de Sílice de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

Componente Químico	%	Componente Químico	%
SiO ₂	83.20	P ₂ O ₅	0.40
Al ₂ O ₃	0.95	SO ₃	0.13
Fe ₂ O ₃	1.05	TiO ₂	0.08
CaO	1.02	CL	0.07
MgO	1.03	Perdida	10.60
K ₂ O	1.29	Total	99.97
Na ₂ O	0.15		

Fuente: (Allauca, Amen, & Lung, 2009)
 Adaptación: Propia



Figura 16 Mapa – Provincia de Paucartambo – Lugar de obtención de la cascarilla de arroz

Fuente: MR Paucartambo

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Las Propiedades Físico Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco incrementaran al utilizar ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5%; respectivamente, con relación al agua de mezcla.

2.3.2. Sub Hipótesis


1. El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal; tendrá mayor limite plástico, menor limite líquido y aumentara el índice de plasticidad según la adición de la ceniza de cascara de arroz y cal.
2. La densidad del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía rumi Wasi – San Sebastián, disminuirá mientras más se añade ceniza de cascara de arroz e incrementara en el contenido óptimo de agua al agregar más ceniza de cascara de arroz.
3. La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante aumentara más del 20% estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5% y 12%-5%, respectivamente.
4. La Expansión Del Suelo Obtenido de la Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 7%-5%, 12%-5% y 15%-5% de ceniza de cascara de arroz y cal respectivamente

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables independientes







 Ceniza de Cascara de Arroz (CCA)

 Cal

 Tipo de Suelo



2.4.2. Variables dependientes

-  L.L (Limite liquido).
-  I.P (Índice de plasticidad).
-  Densidad máxima.
-  Humedad óptima.
-  CBR (Capacidad de soporte CBR).
-  Expansión del Suelo.

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERALIZACION DE VARIABLES				
VARIABLES DEPENDIENTES				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Y1= Limite Líquido	Es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido	Máximo 25% (Fuente:EG-2013)	Contenido de Humedad (%)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 110 - 2016 ASTM D 4318
Y2= Índice de Plasticidad	Magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo IP = LL- LP	Alta Media Baja No Plástico	Contenido de Humedad (%)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 111 - 2016 ASTM D 4318
Y3= Densidad Maxima	Densidad de un suelo en el estado más denso obtenible según ensayo normal	Denso Suelto	Peso (gr) Volumen (cm ³)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 115 - 2016 NTP 339.14 ASTM 339.114
Y4= Humedad Óptima	Es la humedad que nos permite alcanzar una compactación óptima.	Húmedo Seco	Contenido de Humedad Óptima (%)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 115 - 2016 NTP 339.14
Y5= Capacidad de Soporte CBR	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	Mínimo 40% (Fuente:EG-2013)	Valor del CBR (%)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 132 - 2016
Y6= Expansión de Suelo	Hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando disminuye	Bajo Medio Alto Muy Alto	Expansión (%)	Fichas de recolección Hojas de cálculo MTC E 132 - 2016 ASTM D 1883
VARIABLES INDEPENDIENTES				
X1= Ceniza de Cascara de Arroz	Aditivo para mejorar las propiedades físico - mecánicas del suelo	7% 12% 15%	X1: % del peso de sustitución de ceniza de cáscara de arroz por el agua de mezcla de la subrasante	Guías de observacion de laboratorio de Mecánica de Suelos
X2= Cal	Aditivo para mejorar las propiedades físico - mecánicas del suelo	5%	X2:% del peso de sustitución de cal por el agua de mezcla de la subrasante.	Guías de observacion de laboratorio de Mecánica de Suelos
X3= Tipo de Suelo	Agrupar a los suelos por las semejanzas en sus comportamientos, existen dos sistemas SUCS y AASHTO	Suelos Granulares Suelos Finos	X3:Clasificación de Suelos.	Uso de tablas SUCS Y AASHTO. MTC E 107-2016 ASTM D 422

Fuente: Propia

Capítulo III

3. Metodología

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Enfoque de la Investigación

“El enfoque cuantitativo se basa en utilizar la acumulación de datos para probar la hipótesis con base al cálculo numérico y el análisis estadístico, con la finalidad de implantar pautas de comportamiento y probar las teorías” (Hernandez Sampieri, 2014).

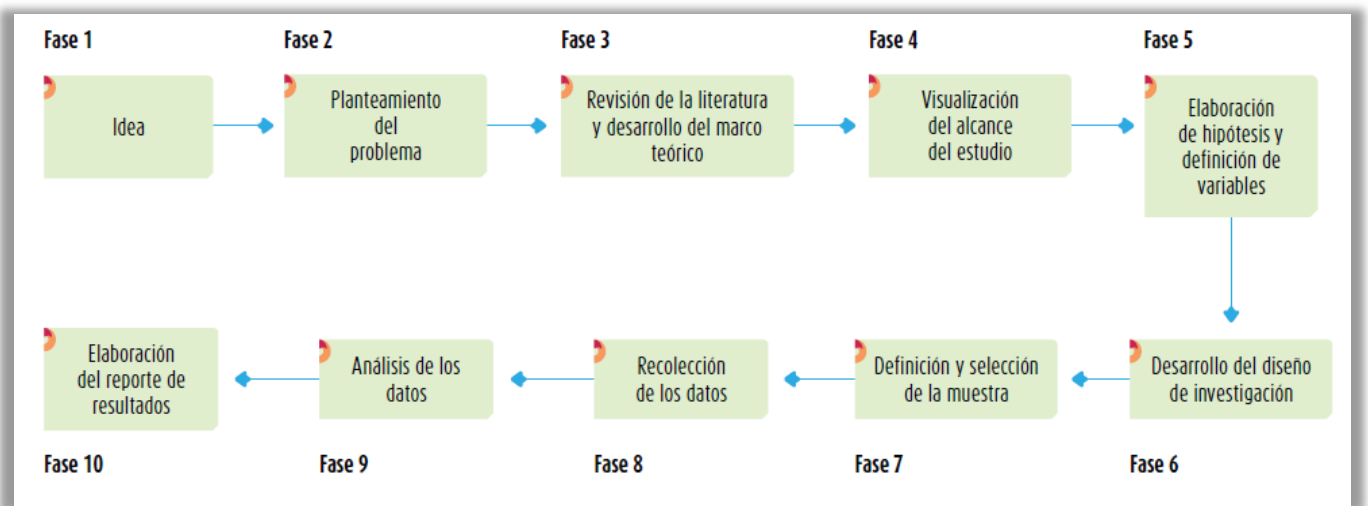


Figura 17 Proceso Cuantitativo

Fuente: (Hernandez Sampieri, 2014)

La presente investigación, tiene el enfoque cuantitativo, ya que los datos obtenidos en campo son medidos y analizados según sea el fin de estas; se hizo una medición de las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso, partiendo de la premisa que un suelo arcilloso no es apto para ser utilizado como material de subrasante. Así mismo, se establecen las hipótesis antes de la recolección de datos.



3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

Nivel descriptivo

“Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta” (Rodriguez Moguel, 2005).

Correlacional

Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. Estos estudios al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas y, después cuantifican y analizan la vinculación. (Hernandez-Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010)

El presente estudio desarrolla un nivel descriptivo con alcance correlacional, debido a que analiza las propiedades físico – mecánicas de un suelo a nivel de subrasante estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en diferentes porcentajes.

3.1.3. Método de la Investigación

“El enfoque Hipotético – Deductivo; se conduce a las investigaciones cuantitativas, lo que implica que de una teoría general se deriven ciertas hipótesis, las cuales posteriormente son probadas contra observaciones de los fenómenos en la realidad” (Hernandez Sampieri, 2014).

El método de esta investigación es del tipo hipotético – deductivo, debido que a un planteamiento de problema con fines de estudio se han planteado hipótesis, para luego ser respaldadas mediante ensayos elaborados en laboratorio, en base a los enunciados con los resultados.

3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. Diseño Metodológico

El Diseño Cuasi Experimental es útil para estudiar problemas donde no se puede tener control total de las situaciones, aun cuando estén formado en grupos. Es decir, no es posible realizar la selección aleatoria de los sujetos participantes en dichos estudios, por eso la característica principal de este diseño es incluir grupos constituidos (Hernandez Sampieri, 2014).

3.2.2. Diseño de Ingeniería

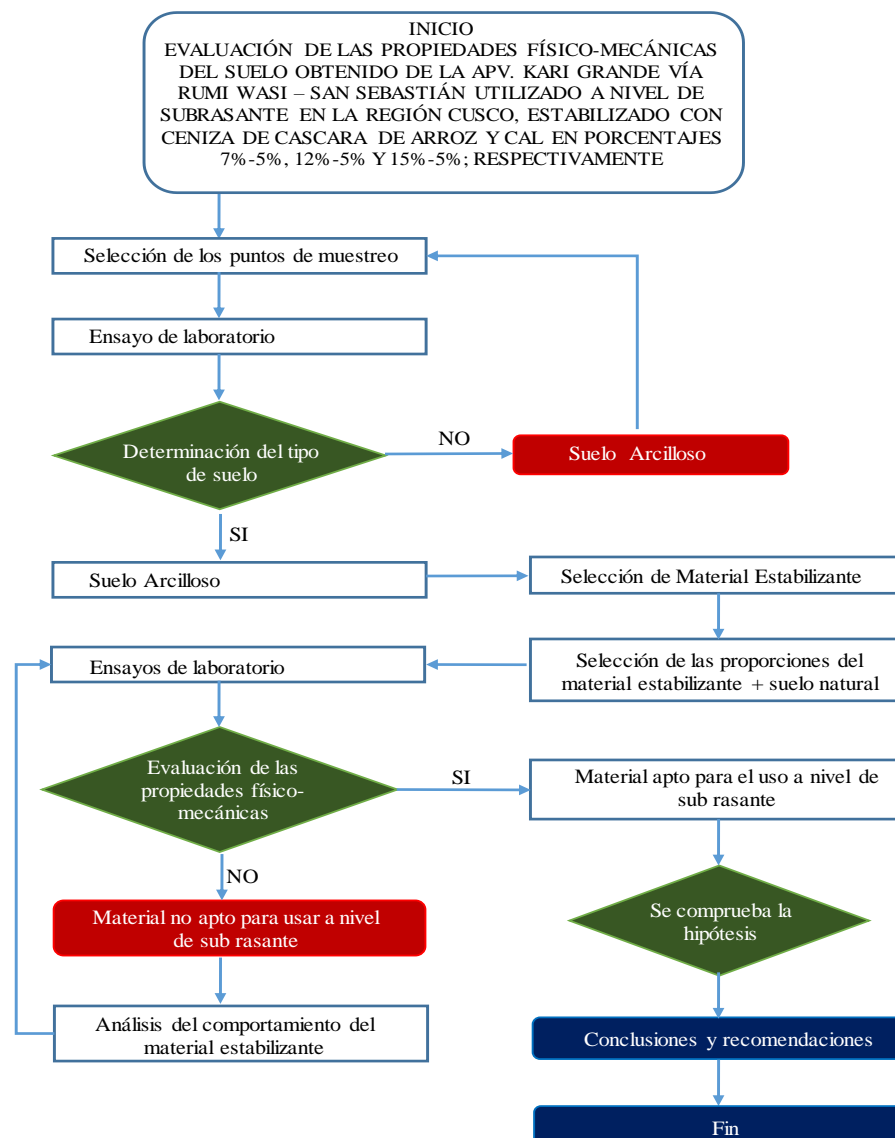


Figura 18 Flujograma
Fuente: Elaboración Propia



3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Dícese al conjunto integrado por todas las mediciones u observaciones del universo que está interesado en la investigación; esto significa que existen varias poblaciones para un universo único, así como cantidades de características para medir; esta población podrá ser infinita o finita y el tamaño de la población tiene denotación por el símbolo “N”. (Parra Olivares, 2003)

3.3.1.1. Descripción de la población

En esta investigación la población será la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi, el tramo de carretera estudiada será la continuación de dicha vía que no se encuentra asfaltada, en el desarrollo de la tesis nos enfocaremos en el suelo de la vía, considerando la distancia de 1 km.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población es única, el estrato geológico del suelo estudiado denominado según clasificación SUCS “CL” (arcilla de baja plasticidad), y según clasificación AASHTO “A-6 (8)” de la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi sin asfaltar.

3.3.2. Muestra

Se denomina muestra a la parte de un conjunto, quiere decir que es el subconjunto, que fundamentalmente tiene por finalidad averiguar las características y propiedades que posee la población estudiada; entonces se dirá que la muestra es la que representara a toda la población (Parra Olivares, 2003).



3.3.2.1.Descripción de la Muestra

El objetivo principal al describir la muestra, es hacer inferencia a la población que se estudia teniendo base la información que contiene dicha muestra, por lo que el objetivo conlleva al estudio del problema del muestreo. (Parra Olivares, 2003)

La muestra que se utiliza para nuestra investigación es única y el suelo estudiado proviene de la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi.

3.3.2.2.Cuantificación de la Muestra

La cantidad de elementos que componen esta muestra son: 54 ensayos que se realizaran en laboratorio a las muestras de suelo añadiendo ceniza de cascara de arroz y cal en distintos porcentajes. Véase la Tabla 14 “Ensayos realizados, normativa y número de muestras”.

3.3.2.3.Método de Muestreo

El método que se ha realizado en esta investigación tiene por tipo el no probabilístico, ya que los procedimientos de selección de las muestras intervienen distintos factores al azar en la determinación de cuáles son los elementos que se incluyen en la muestra. (Parra Olivares, 2003)

Según (Parra Olivares, 2003). El número de muestras que se va realizar esta determinado por los ensayos que se va a llevar a cabo en laboratorio: muestreo de suelos(01), análisis granulométrico de suelo por tamizado (01), limite liquido de suelos (16), limite plástico e índice de plasticidad (12) Relación de humedad – densidad (Proctor modificado) (12) y capacidad de soporte CBR (12), lo cual sería un total de 54 ensayos que se van a ejecutar.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

En la presente investigación se evaluó el material de la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi a través de testigos sometidos a ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos para un material de subrasante; estos testigos son las muestras extraídas de 5 calicatas cada una con 1.50 m de altura de dicha carretera. Véase las figuras 23, 24, 25, 26 y 27; donde se muestra la “Estratigrafía de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande”.

Tabla 14 Ensayos realizados, normativa y número de muestras

Ensayos	Norma	NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZAR						TOTAL DE ENSAYOS	
		SUELO NATURAL	ADICIÓN DE ADITIVO						
			1°		2°		3°		
			CCA	CAL	CCA	CAL	CCA		CAL
		7%	5%	12%	5%	15%	5%		
Muestreo de suelo	MTC E 101 ASTM D420	1							1
Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado	MTC E 107- 2016 ASTM D422	1							1
Limite líquido de Suelos	MTC E 110- 2016 NTP 339.129	4	4		4		4		16
Limite Plástico e Índice de Plasticidad	MTC E 111- 2016 NTP 339.129	3	3		3		3		12
Relación de Humedad - Densidad (Proctor Modificado)	MTC E 115- 2016 ASTM D1557 NTP 339.141	3	3		3		3		12
Capacidad de Soporte CBR	MTC E 132- 2016 ASTM D 1883	3	3		3		3		12
TOTAL DE ENSAYOS REALIZADOS									54

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Criterios de Inclusión

La muestra de material para sub rasante fue obtenida de la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi, distrito de San Sebastián. Provincia del Cusco, Departamento del Cusco considerando la longitud de la vía de 998.83 m.



- 🦅 En dicha investigación el aditivo usado es la Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA), que se obtiene de la zona de Pilcopata, Distrito de Paucartambo, Departamento del Cusco.
- 🦅 El material que se evalúa tendrá que cumplir con los ensayos normados por el MTC para subrasante.
- 🦅 Se agregaron dos aditivos: Ceniza de Cascarilla de Arroz en porcentajes adecuados (Porcentajes de CCA 7%-12%-15%) mezclado con la CAL (Porcentaje de cal 5%) quedando invariable en las tres combinaciones.
- 🦅 La evaluación de las propiedades físico mecánicas del material de subrasante con adición de CCA y CAL será evaluado bajo la tutela de los ensayos que se mencionan en la Tabla 15.

3.4. Instrumentos


3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

Fichas técnicas

3.4.1.1. Determinación del contenido de humedad

Véase la tabla 15



Tabla 15 Ficha de toma de datos del Contenido de Humedad

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTUR ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIV		
Tema de Tesis:	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."		
Ensayo:	Determinación del Contenido de Humedad		
Ubicación:	APV Karigrande Via Rumihuasi - San Sebastian - Cusco		
Responsables:	Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco		
Muestra:	Material Arcilloso		
Fecha:			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	PROMEDIO
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.2. Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado



Tabla 16 Ficha de toma de datos para el Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>																		
<p>Tema de Tesis: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."</p> <p>Ensayo: Análisis Granulométrico de Suelo por tamizado</p> <p>Ubicación: APV Karigrande Via Rumihuasi - San Sebastian - Cusco</p> <p>Responsables: Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco</p> <p>Muestra: Material Arcilloso</p> <p>Fecha:</p>																			
<p>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88</p>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #f2f2f2;">MATERIAL NO LAVADO</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Peso total de la muestra =</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Peso de la fracción no lavada =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la fracción para lavado =</td> <td></td> </tr> </table>		MATERIAL NO LAVADO		Peso total de la muestra =		Peso de la fracción no lavada =		Peso de la fracción para lavado =		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #f2f2f2;">FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Peso de la fracción antes del lavado =</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Peso de la fracción después de lavar =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% de la fracción lavada =</td> <td></td> </tr> </table>		FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO		Peso de la fracción antes del lavado =		Peso de la fracción después de lavar =		% de la fracción lavada =	
MATERIAL NO LAVADO																			
Peso total de la muestra =																			
Peso de la fracción no lavada =																			
Peso de la fracción para lavado =																			
FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO																			
Peso de la fracción antes del lavado =																			
Peso de la fracción después de lavar =																			
% de la fracción lavada =																			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA											
4"	100																		
3"	75																		
2"	50																		
1½"	37.5																		
1"	25																		
¾"	19																		
3/8"	9.5																		
Nº 4	4.75																		
Nº 10	2																		
Nº 20	0.850																		
Nº 40	0.425																		
Nº 60	0.250																		
Nº 140	0.106																		
Nº 200	0.075																		
Cazuela	-																		
Lavado	-																		
Fracción Retenida en Lavado																			
Total																			

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.3. Determinación del límite Líquido



Tabla 17 Ficha de toma de datos del Ensayo del límite líquido

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																											
<p>Tema de Tesis: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."</p> <p>Ensayo: Determinación del Límite Líquido (L.L) de los Suelos</p> <p>Ubicación: APV Karigrande Via Rumihuasi - San Sebastian - Cusco</p> <p>Responsables: Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco</p> <p>Muestra: Material Arcilloso</p> <p>Fecha:</p> <p style="text-align: center;"><u>LÍMITE LÍQUIDO</u></p> <p style="text-align: center;">MTC E 110, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89</p>																																												
<table border="1"><thead><tr><th>DESCRIPCIÓN</th><th>MUESTRA 01</th><th>MUESTRA 02</th><th>MUESTRA 03</th><th>MUESTRA 04</th></tr></thead><tbody><tr><td>Número de Golpes</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso de Capsula (gr)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso del Agua (gr)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso de la Muestra Seca (gr)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Contenido de Humedad</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>					DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	Número de Golpes					Peso de Capsula (gr)					Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)					Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)					Peso del Agua (gr)					Peso de la Muestra Seca (gr)					Contenido de Humedad				
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04																																								
Número de Golpes																																												
Peso de Capsula (gr)																																												
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)																																												
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)																																												
Peso del Agua (gr)																																												
Peso de la Muestra Seca (gr)																																												
Contenido de Humedad																																												

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.4. Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad

Tabla 18 Ficha de toma de datos del Ensayo de Límite Plástico e Índice de plasticidad

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 		
Tema de Tesis:	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."		
Ensayo:	Determinación del Límite Plástico (L.P) e Índice de Plasticidad (I.P) de los S		
Ubicación:	APV Karigrande Via Rumihuasi - San Sebastian - Cusco		
Responsables:	Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco		
Muestra:	Material Arcilloso		
Fecha:			
<u>LÍMITE PLÁSTICO</u>			
MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90			
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.5. Determinación de Relación Humedad – Densidad (Proctor Modificado)

Tabla 19 Ficha de toma de datos del Ensayo de Proctor Modificado

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA INGENIERÍA CIVIL</p>														
<p>Tema de Tesis:</p>	<p>"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."</p>														
	<p>Ensayo: Determinación del Ensayo de Proctor Modificado</p>														
	<p>Ubicación: APV Karigrande Via Rumihuasi - San Sebastian - Cusco</p>														
	<p>Responsables: Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco</p>														
	<p>Muestra: Material Arcilloso</p>														
	<p>Fecha:</p>														
<p><u>COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO, UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA</u></p> <p>MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180</p>															
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #f4b084;">DATOS PRELIMINARES</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Método =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de capas =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes por capa =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Masa del pisón =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura de caída del pisón =</td> <td></td> </tr> </table>				DATOS PRELIMINARES		Método =		Número de capas =		Número de golpes por capa =		Masa del pisón =		Altura de caída del pisón =	
DATOS PRELIMINARES															
Método =															
Número de capas =															
Número de golpes por capa =															
Masa del pisón =															
Altura de caída del pisón =															
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03												
Número de Proctor Utilizado															
Diámetro del Molde (cm)															
Altura del molde (cm)															
Volumen del Molde (cm ³)															
Peso del Molde (gr)															
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)															
Peso de la Muestra Húmeda (gr)															
Peso de la Muestra Seca (gr)															
Densidad Seca (gr/cm³)															
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio												
Peso de Capsula (gr)															
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)															
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)															
Peso del Agua (gr)															
Peso de la Muestra Seca (gr)															
Contenido de Humedad															

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.6. Determinación del Ensayo de CBR (laboratorio)

Tabla 20 Ficha de toma de datos del Ensayo de CBR

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO														
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA														
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL														
<p>Tema de Tesis: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente."</p> <p>Ensayo: Determinación del Ensayo de CBR (Laboratorio)</p> <p>Ubicación: APV Karigrande Vía Rumihuasi - San Sebastian - Cusco</p> <p>Responsables: Diego Armando Argandoña Puma // Julio Palomino Blanco</p> <p>Muestra: Material Arcilloso</p> <p>Fecha:</p>														
<p>RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193</p>														
DATOS PRELIMINARES														
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN				DATOS DEL MOLDE						
Densidad Seca Máxima =				Peso del Martillo =				Diámetro del Molde =						
Contenido Humedad Óptimo =				Altura de Caída del Martillo =				Altura del Molde =						
Contenido Humedad Natural =				Número de Capas =				Altura del Disco Espaciador =						
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN														
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01				+3.4E+00 *X		-1.11E-04 *X ²		+0.0E+00 *X ³		(KN)				
Área del Pistón =														
ENSAYO DE COMPACTACIÓN														
Muestra	MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03					
Número de Golpes por Capa	55				26				12					
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada						
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio		Arriba		Medio		Arriba		Medio		Arriba			
Peso de Capsula (gr)														
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)														
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Contenido de Humedad														
Porcentaje de Absorción														
Peso del Molde (gr)														
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua Absorbida (gr)														
Porcentaje de Absorción														
Densidad húmeda (gr/cm3)														
Densidad Seca (gr/cm3)														
ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra	MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03					
Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de		
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	
0	0 hor 00 min	0				0				0				
0.0625	1 hor 30 min	10				27				16				
0.125	3 hor 00 min	15				35				29				
0.25	6 hor 00 min	23				47				48				
0.5	12 hor 00 min	45				82				77				
1	24 hor 00 min	49				86				78				
2	48 hor 00 min	65				96				82				
4	96 hor 00 min	80				99				84				
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra	MUESTRA 01			MUESTRA 02				MUESTRA 03						
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
0	0.000	0	0				0				0			
25	0.635	5	5				5				4			
50	1.270	13	13				11				9			
75	1.905	20	20				15				12			
70.31	100	2.540	26				17				14			
	125	3.175	30				22				18			
	150	3.810	34				25				20			
105.46	200	5.080	42				29				23			
	300	7.620	54				35				27			
	400	10.160	62				41				31			
	500	12.700	71				47				36			

Fuente: Elaboración Propia



3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

Dicha investigación que se realizó presenta distintos instrumentos de ingeniería aplicados en campo para la toma de datos, siendo imprescindible equipos y herramientas en cada ensayo desarrollado en laboratorio.

3.4.2.1. Determinación del contenido de humedad

- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1 g.
- ☞ Taras.
- ☞ Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ☞ Utensilios para la manipulación de recipiente, tenazas, guantes, cucharas y espátula.






3.4.2.2. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado

- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1 g.
- ☞ Tamices: 75 mm (3”), 50.8 mm (2”), 37.5 mm (1 ½”), 25.4 mm (1”), 19.00 mm (3/4”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.840mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.250 mm (N°60), 0.106 mm (N°140), 0.075 (N°200).
- ☞ Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ☞ Envases para el manejo y secado de las muestras.









3.4.2.3. Ensayo de límite líquido

- ☞ Aparato de Casa de Grande.
- ☞ Recipientes tipo porcelana.
- ☞ Ranurador.
- ☞ Recipientes para contenido de humedad.
- ☞ Pipeta.
- ☞ Tamiz N°40.
- ☞ Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ☞ Espátula.
- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.01 g.









3.4.2.4. Ensayo de límite plástico.

-  Placa de vidrio esmerilado.
-  Balanza con sensibilidad de 0.01 g.
-  Espátula.
-  Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
-  Capsula para evaporación de porcelana.

3.4.2.5. Ensayo de proctor modificado

-  Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
-  Pisón o martillo.
-  Molde de 4”.
-  Extractor de muestras.
-  Herramientas de mezcla.
-  Regla de metálica.
-  Balanza con aproximación de 1.0 g.
-  Tamices $\frac{3}{4}$ ”, 3/8” y N°4.

3.4.2.6. Ensayo CBR “California Bearing Ratio

-  Pisón de compactación.
-  Molde de metal de 6” con collarín.
-  Disco espaciador de metal, con forma circular.
-  Aparato medidor de expansión.
-  Pesas de 4.54 kg.
-  Pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 kg.
-  Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1”) y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001”).
-  Pistón de penetración metálico de sección transversal circular.

3.5. Procedimiento de recolección de datos

3.5.1. Muestreo de Suelos

- a) En la actualidad la APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi, distrito de San Sebastián. Provincia del Cusco, Departamento del Cusco considerando la longitud de la vía de 1km. a estudiar, presenta un suelo arcilloso con baja capacidad de soporte, que según la clasificación de suelos por AASHTO pertenece al grupo A-6 (8); por consiguiente, conviene realizar un mejoramiento afectando a la subrasante de dicho suelo.



Figura 19 Tramo APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi

Fuente: Google Maps

URL: <https://www.google.com/maps/@-13.5212317,-71.941974,21z>

Adaptación: Propia

- b) Se realizó una caracterización visual de la vía, entendiendo que el tramo estudiado cuenta con material arcilloso en su mayoría, observando que el material presenta una contextura dura y seca por ciertos tramos con un color marrón oscuro y en otros una contextura blanda. Se extrajo aproximadamente 600 kg de material, como muestra representativa del tramo para analizarlos en laboratorio realizando los pertinentes ensayos.



Figura 20 Extracción de Material APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi
Fuente: Elaboración Propia



Figura 21 Material Extraído de la calicata APV. Kari Grande - Vía Rumiwasi
Fuente: Elaboración Propia

c) Con los datos obtenidos en campo se procede a realizar el perfil en planta de la vía estudiada, indicando las progresivas de cada calicata (05).

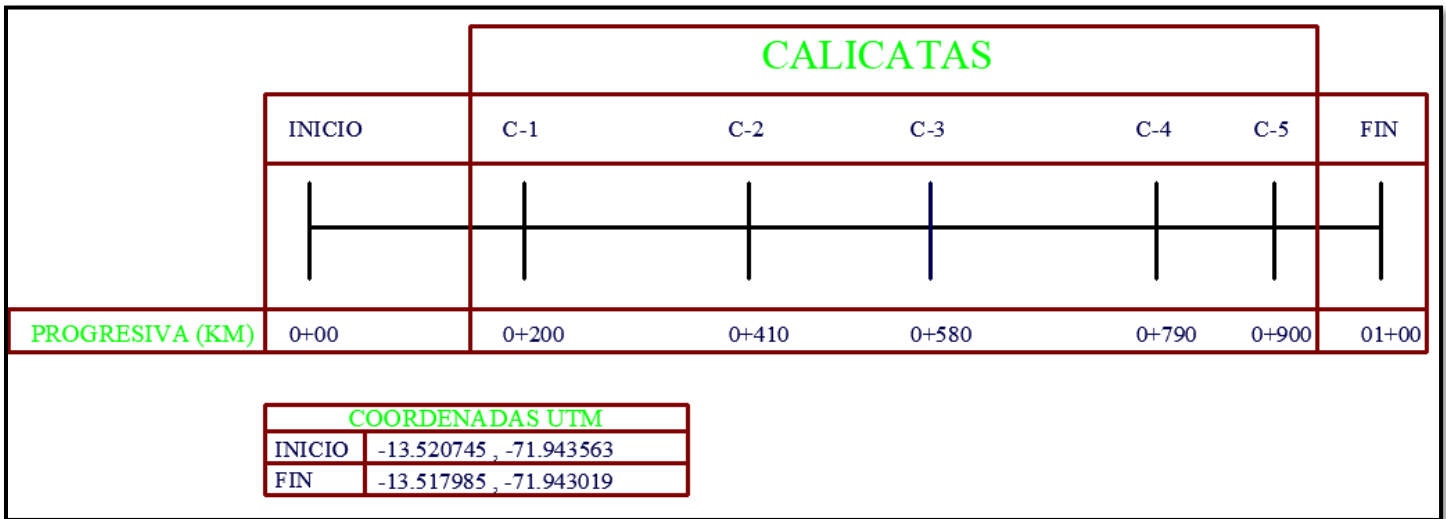


Figura 22 Perfil de Planta de la APV.Kari Grande – Vía Rumiwasi

Fuente: Elaboración Propia

d) Para su mejor estudio se obtuvo el Perfil Estratigráfico de cada calicata (05), que se presenta a continuación en las Figuras 23, 24, 25, 26 y 27.

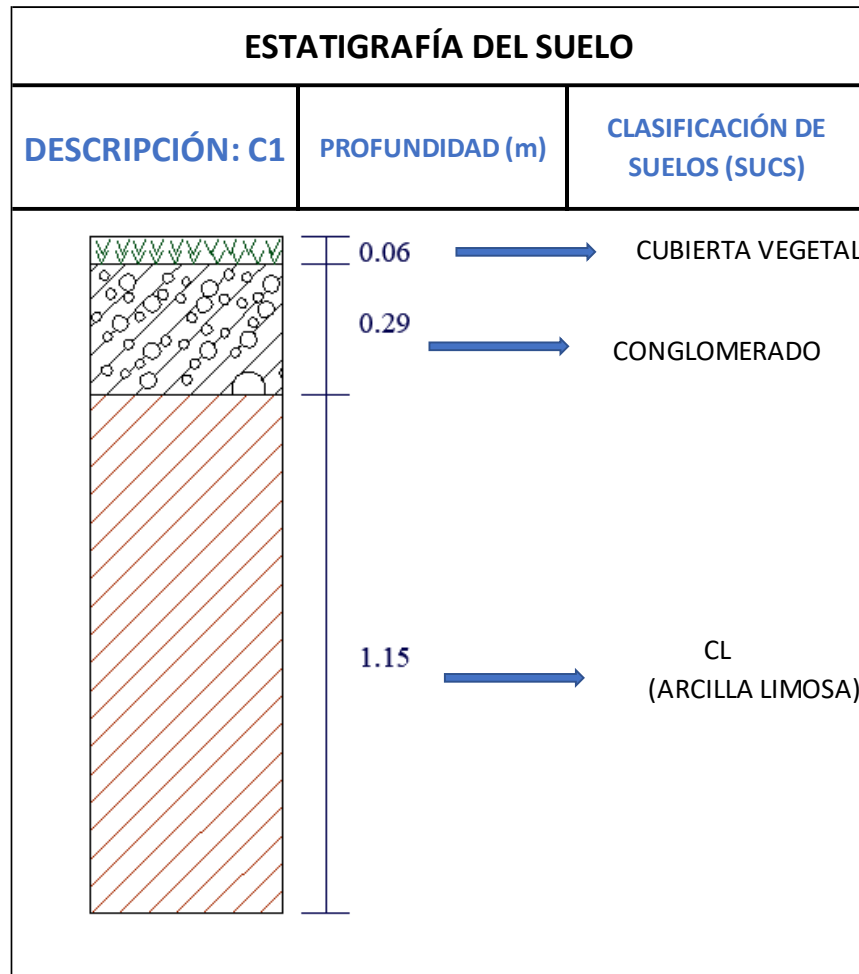


Figura 24 Estratigrafía (C-1) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande

Fuente: Elaboración Propia

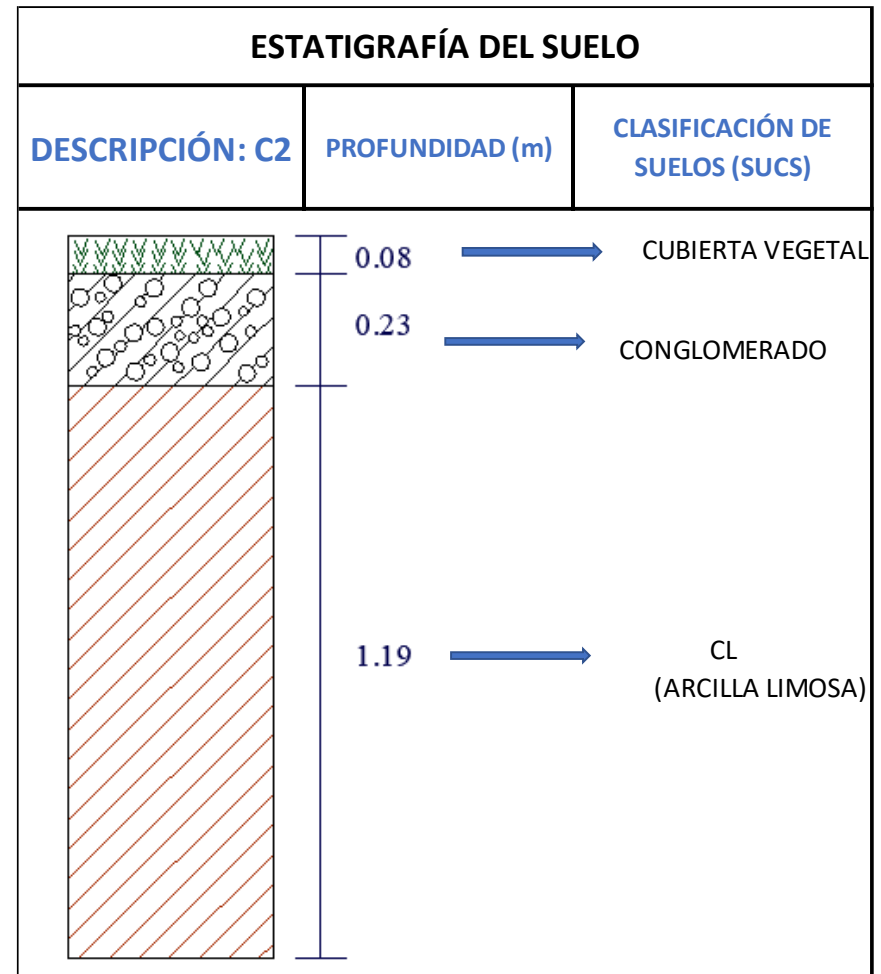


Figura 23 Estratigrafía (C-2) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande

Fuente: Elaboración Propia

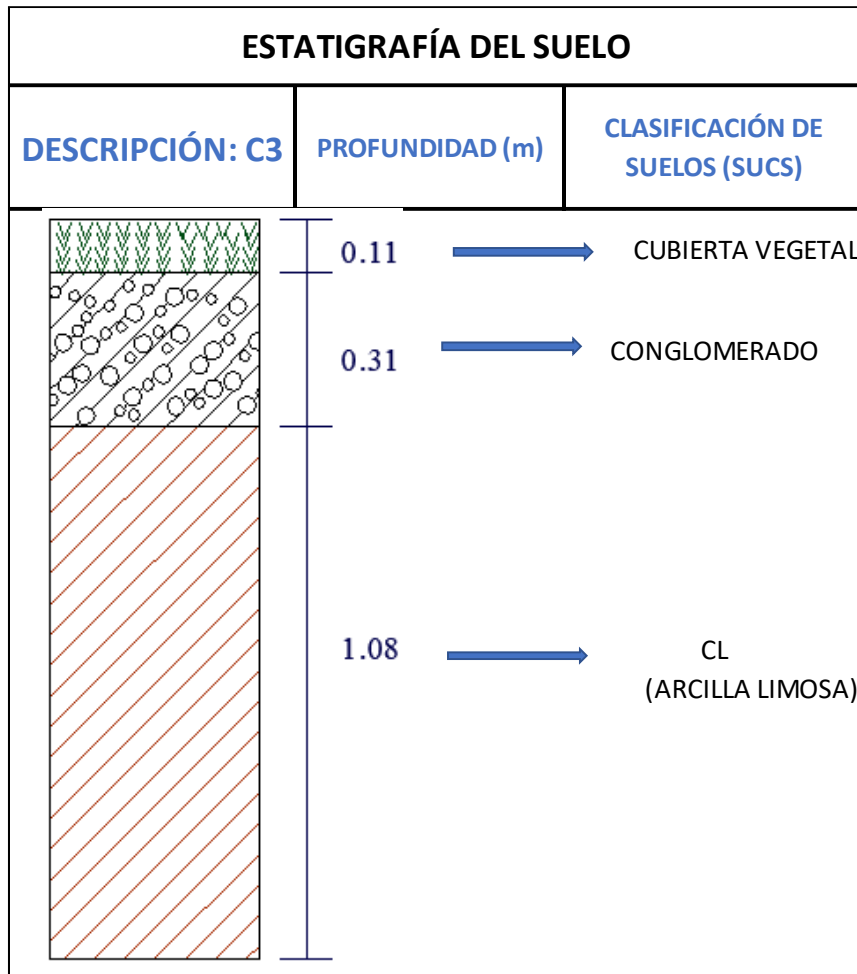


Figura 26 Estratigrafía (C-3) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande
Fuente: Elaboración Propia

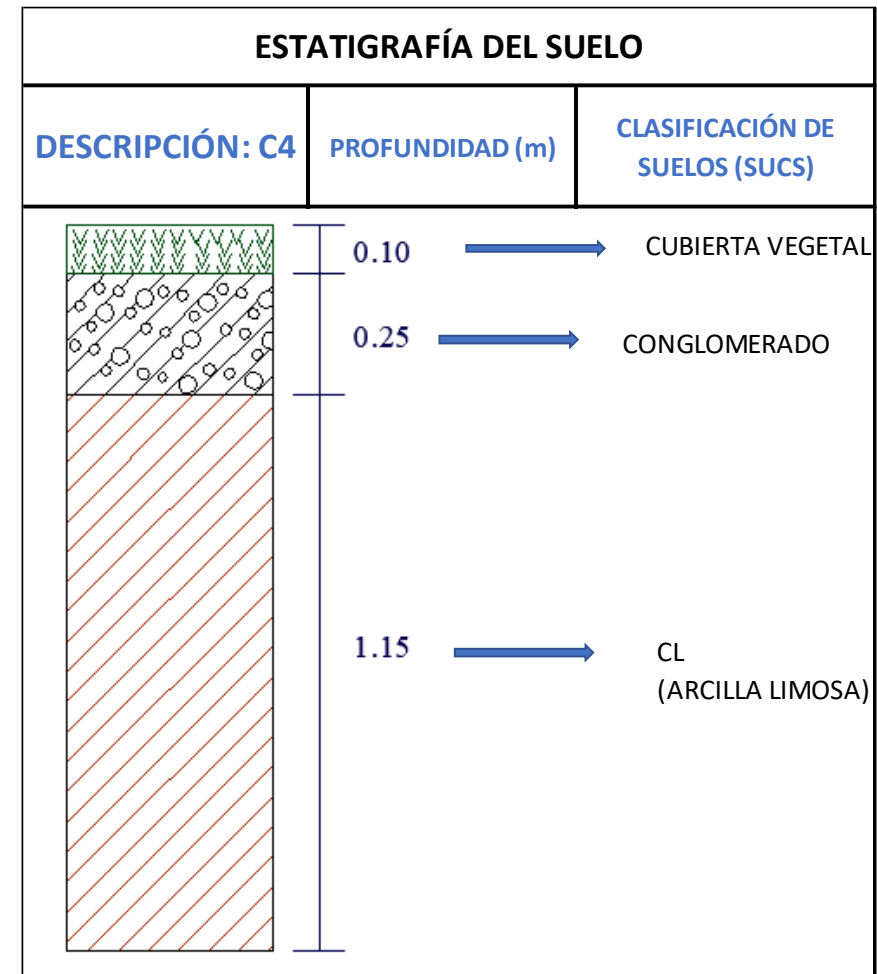


Figura 25 Estratigrafía (C-4) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande
Fuente: Elaboración Propia

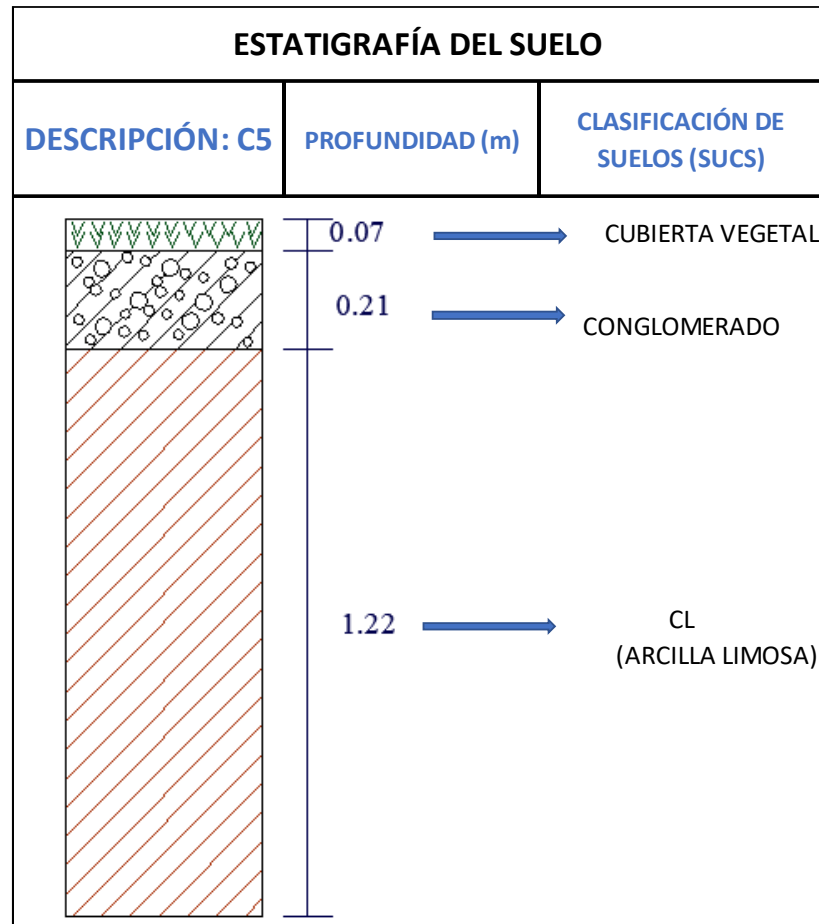


Figura 27 Estratigrafía (C-5) de la Vía Rumi Wasi – Kari Grande
Fuente: *Elaboración Propia*

- e) Para la estabilización de la subrasante se usó como aditivo la CAL VIVA y no la cal hidratada, ya que, la cal viva mejora las características químicas del suelo al unirse con la ceniza de cascarilla de arroz. También para la estabilización de la subrasante se usó como aditivo la cascarilla de arroz como ceniza, obtenido del lugar de Pilcopata, Distrito de Kosñipata, Provincia de Paucartambo, Departamento del Cusco.
- f) Se construyó un horno artesanal para realizar el quemado de la cascarilla de arroz y poder obtener la ceniza, este horno artesanal fue construido usando mezcla de tierra, arcilla y a su vez arena; estos tres materiales se juntaron con paja para establecer una masa solida que sirva de adherencia para juntar los ladrillos que conforman el horno artesanal. El horno artesanal construido posee en el interior un cilindro atravesado con rejas el cual sirve como apoyo para poder poner las bandejas que se van a utilizar en la calcinación.



Figura 28 Horno Artesanal – Incineración de la cascarilla de arroz

Fuente: Elaboración Propia

- g) Esta calcinación de ceniza de cascarilla de arroz se hizo aproximadamente a 500°C de temperatura, seguidamente se tendió al aire libre para su enfriamiento y poder ser llevada a laboratorio y ser triturada en la Maquina de los Ángeles, obteniendo partículas de ceniza más trabajables para su uso como aditivo en la subrasante.



Figura 29 Ceniza de cascara de arroz quemada

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Ensayo de contenido de Humedad

a) Equipos

- ☞ Balanza con sensibilidad de 0.1 g.
- ☞ Taras.
- ☞ Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ☞ Utensilios para la manipulación de recipiente, tenazas, guantes, cucharas y espátula.

b) Procedimiento

- ☞ Se registra el peso de las taras (y su tapa si es usada) limpias y secas en la balanza eléctrica.
- ☞ Se selecciona las muestras representativas de suelo.
- ☞ Se coloca la muestra de ensayo húmedo en las taras (y si se usa colocar la tapa asegurada).
- ☞ Usando la balanza electrónica se registra el valor determinado del peso de la tara y del material húmedo.
- ☞ Se retira la tapa y se coloca la tara con material húmedo en el horno. Procedemos a secar el material hasta alcanzar una masa invariable, manteniendo el secado en el horno a 110 ± 5 °C con un tiempo de permanencia según el tipo de material, tamaño de muestra, capacidad y tipo de horno.
- ☞ Se espera que sequé el material y tenga un peso constante, para poder retirarlo del horno, después se determina registrando el peso del contenedor y el material secado al horno, utilizando la misma balanza electrónica.

c) Toma de Datos

Véase la tabla 21 (MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216)

Tabla 21 Contenido de Humedad del Suelo Natural – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01
Peso de Capsula (gr)	35.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	384.32
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	344.01
Peso del Agua (gr)	40.31
Peso de la Muestra Seca (gr)	308.11

Fuente: *Elaboración Propia*



3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado

a) Equipos

- ✉ Balanza con sensibilidad de 0.1 g.
- ✉ Tamices: 75 mm (3”), 50.8 mm (2”), 37.5 mm (1 ½”), 25.4 mm (1”), 19.00 mm (3/4”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.840mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.250 mm (N°60), 0.106 mm (N°140), 0.075 (N°200).
- ✉ Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ✉ Envases para el manejo y secado de las muestras.

b) Procedimiento

- ✉ Se tendrá una determinación cuantitativa que indicara la distribución de los diferentes tamaños de las partículas del suelo, que se empleara con las partículas que pasan las mallas de los distintos tamices, hasta el tamiz N°200 (75mm).
- ✉ Se determina la muestra uniforme adquirida por cuarteo para obtener una muestra representativa, después se registra el peso de la muestra adquirida.
- ✉ Se procede a saturar la muestra representativa por el periodo de 24 horas hasta conseguir una masa constante.
- ✉ Se consigue la separación de los finos del suelo, requiriendo el lavado de la muestra en el tamiz N°200 (75mm), se tendrá el respectivo cuidado para no desperdiciar el material, acto seguido se colocará sobre un recipiente todo el material retenido en la malla N°200 (75mm) para ser llevado al horno.
- ✉ Una vez el material seco, se retira y se hace la toma de datos del peso, para poder determinar la fracción en peso que se pierde por lavado.

- Se procede con el tamizado, donde se hizo uso de la tamizadora electrónica y se requiere ordenar de mayor a menor abertura los tamices, para después obtener el material retenido en cada tamiz.



Figura 30 Juego de Tamices
Fuente: Elaboración Propia

- Se procede a tamizar el peso total lavado del material seco, para determinar la cantidad de muestra que se desperdició durante el proceso por causa del tamizado.

El peso de fracción retenida en cada tamiz se determina y se registra en la balanza con una sensibilidad de 0.1%. La sumatoria total de cada fracción de los pesos retenidos y el peso inicial no debe variar en más de 1%.



Figura 31 Toma de datos del Ensayo de Análisis Granulométrico
Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de Datos

Véase la tabla 22 (MTC E 107, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88)

Tabla 22 Ensayo granulométrico de suelos por tamizado del Suelo Natural – Toma de datos

MATERIAL NO LAVADO
Peso total de la muestra = 2,033.24 gr
Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr
Peso de la fracción para lavado = 2033.24 gr










FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO
Peso de la fracción antes del lavado = 2033.24 gr
Peso de la fracción después de lavar = 693.37 gr
% de la fracción lavada = 100.00%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00						
3"	75	0.00						
2"	50	0.00						
1½"	37.5	0.00						
1"	25	0.00						
¾"	19	0.00						
3/8"	9.5	46.21						
Nº 4	4.75	75.47						
Nº 10	2	127.68						
Nº 20	0.850	119.64						
Nº 40	0.425	88.16						
Nº 60	0.250	63.95						
Nº 140	0.106	114.91						
Nº 200	0.075	50.33						
Cazuela	-	6.87						
Lavado	-	1339.87						

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4. Ensayo de límite líquido

a) Equipos

-  Aparato de Casa de Grande.
-  Recipientes tipo porcelana.
-  Ranurador.
-  Recipientes para contenido de humedad.
-  Pipeta.
-  Tamiz N°40.
-  Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
-  Espátula.
-  Balanza con sensibilidad de 0.01 g.

b) Procedimiento

- ✎ Se tamiza la muestra representativa de 250 g de material a través de la malla N°40.
- ✎ La muestra obtenida se deposita en una vasija de porcelana, continuamente se mezcla con agua y con ayuda de la espátula se ayuda a homogenizar el agua y la mezcla, hasta lograr que la pasta tenga una consistencia pegajosa.
- ✎ Sobre la cazuela de Casa Grande se coloca una pequeña porción del material mezclado y se nivela con ayuda de la espátula hasta lograr una superficie regular aproximadamente hasta que se consiga un espesor de 1cm.



Figura 32 Colocado de material en el Aparato de Casa Grande
Fuente: Elaboración Propia

- ✎ Se procede a dividir la muestra que se encuentra en el aparato de Casa Grande, con ayuda del acanalador formamos una ranura limpia y firme a lo largo del diámetro.
- ✎ Se acciona la manija del aparato de Casa Grande girando continuamente, que producirá una elevación, que golpe a golpe con una velocidad constante, harán que las dos mitades

separadas por la ranura se pongan en contacto, después se anotara el número de golpes que se hicieron para cerrar la ranura.

- ✎ Se retira una porción de masa de suelo del ancho de la espátula metálica, teniendo en cuenta que sea perpendicular a la ranura se coloca en un recipiente para determinar el contenido de humedad.
- ✎ Se vuelve a realizar el mismo procedimiento con el material que sobra en la cazuela, se verifica el intervalo de golpes que se da para que se cierre la ranura en la masa del suelo, teniendo en cuenta los aumentos de contenido de humedad para poner en estado de mayor fluidez.
- ✎ Para realizar el cálculo de contenido de humedad se registra y anota el peso de la tara (y su tapa si es usada), continuamente se añade el material de la masa del suelo y se registra el peso de la tara (y su tapa si es usada) más el material húmedo, para luego ser llevada al horno hasta tener un peso constante, pasado el tiempo se anota y registra el peso del suelo seco más la tara.



Figura 33 Límite líquido – colocación de muestras en taras
Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de Datos

Véase las tablas 23, 24, 25 y 26 (MTC E 110, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89)

Tabla 23 Limite Liquido de Suelo Natural – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	8.73	8.00	9.53	9.76
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	33.10	31.24	31.92	33.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	27.69	25.92	26.57	27.77
Peso del Agua (gr)	5.41	5.32	5.35	6.09
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.96	17.92	17.04	18.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24 Limite Liquido Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	36	29	22	15
Peso de Capsula (gr)	6.45	8.12	9.61	8.39
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29.70	29.85	33.15	31.91
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.58	24.96	27.63	26.22
Peso del Agua (gr)	5.12	4.89	5.52	5.69
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.13	16.84	18.02	17.83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25 Limite Liquido Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	36	29	22	15
Peso de Capsula (gr)	7.82	9.79	9.39	9.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.82	30.35	30.15	31.44
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	22.33	25.34	25.00	25.80
Peso del Agua (gr)	4.49	5.01	5.15	5.64
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.51	15.55	15.61	16.33

Fuente: Elaboración Propia






Tabla 26 Limite Liquido Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	8.02	9.55	6.19	7.70
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	28.79	31.29	29.34	29.18
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.86	26.11	23.64	23.70
Peso del Agua (gr)	4.93	5.18	5.70	5.48
Peso de la Muestra Seca (gr)	15.84	16.56	17.45	16.00



Fuente: Elaboración Propia

3.5.5. Ensayo de Limite Plástico

a) Equipos

-  Placa de vidrio esmerilado.
-  Balanza con sensibilidad de 0.01 g.
-  Espátula.
-  Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
-  Capsula para evaporación de porcelana.

b) Procedimiento

-  Se procede a tomar una porción de muestra entre 1.5 – 2.0 g aproximadamente del material preparado.
-  Se procede a deslizar y amasar la muestra con la yema de los dedos sobre la placa de vidrio esmerilado, consiguiendo formar rollos y perdiendo humedad.

- Los rollos que se están formando deben tener un diámetro regular y uniforme en lo que se extiende, teniendo en cuenta que debe alcanzar aproximadamente un diámetro de 3.2 mm.
- Seguidamente se vuelve a repetir el mismo procedimiento tomando otra porción de suelo.
- La prueba culminara cuando dicho rollito empiece a quebrarse o rajarse, tendiendo a desmoronarse.



Figura 34 Límites de Consistencia – Suelo Natural

Fuente: Elaboración Propia



Figura 35 Límites de Consistencia - SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



Figura 36 Límites de Consistencia - SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



Figura 37 Límites de Consistencia - SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



c) Toma de Datos

Véase las tablas 27, 28, 29 y 30 (MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89)

Tabla 27 Limite Plástico de Suelo Natural – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	5.79	9.16	8.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.05	14.83	13.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	10.30	14.00	12.75
Peso del Agua (gr)	0.75	0.83	0.80
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.51	4.84	4.75

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28 Limite Plástico de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.21	8.13	9.36
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	15.39	15.07	17.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.53	14.11	16.03
Peso del Agua (gr)	0.86	0.96	1.10
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.32	5.98	6.67

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29 Limite Plástico de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.23	9.34	8.23
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	15.87	16.05	15.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.93	15.11	14.43
Peso del Agua (gr)	0.94	0.94	1.05
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.70	5.77	6.20

Fuente: Elaboración Propia









Tabla 30 Limite Plástico de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	11.62	8.21	6.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	17.22	13.60	11.42
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	16.31	12.68	10.53
Peso del Agua (gr)	0.91	0.92	0.89
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.69	4.47	4.23

Fuente: *Elaboración Propia*

3.5.6. Ensayo de Relación Humedad- Densidad (Proctor Modificado)

a) Equipos

-  Horno de secado con capacidad de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
-  Pisón o martillo.
-  Molde de 4”.
-  Extractor de muestras.
-  Herramientas de mezcla.
-  Regla de metálica.
-  Balanza con aproximación de 1.0 g.
-  Tamices ¾”, 3/8” y N°4.

b) Procedimiento



-  Se procede a secar el material en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C para poder ser tamizado en las mallas ¾”, 3/8” y N°4 para definir el método de prueba a utilizar.
-  A través de la siguiente tabla se determina el método y el molde a utilizar, véase la tabla 31:

Tabla 31 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado

MÉTODO	% ACUMULADO RETENIDO N°4	% ACUMULADO RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	MATERIAL A USAR
A	≤ 20%	-	-	Pasa N°4
B	> 20	-	-	Pasa 3/8"
C	-	≤ 20%	≤ 30%	Pasa 3/4"

Fuente: *Elaboración Propia*

- ✎ Utilizando la tabla anterior, se determinó que se utilizara el método A, teniendo un molde de 4 pulgadas de diámetro, un volumen de 944 cm³. El material que se utiliza será compactado con una energía modificada de 2700 KN-m/m³ distribuidas en cinco capas con 25 golpes por cada capa.
- ✎ Utilizando la balanza se pesa la masa del molde de compactación, se nota y se registra.
- ✎ Se prepara 4-5 muestras de 5 kg, continuamente añadimos agua y procedemos a mezclarla para tener un incremento de humedad. Por el periodo de 24 horas el material se deja dentro de bolsas de polietileno para el proceso del curado.
- ✎ Se separa la muestra en cantidades iguales (tres).
- ✎ Se procede con el ensayo colocando la muestra y formando así la primera capa, en seguida se aplica los 25 golpes con el pisón, teniendo en cuenta que los golpes deben ser en toda el área consecutivamente.
- ✎ Este procedimiento debe ser aplicado en 5 capas, teniendo un espesor relativamente igual.
- ✎ Finalizada la compactación, se procede a separar el collarín de extensión para que la parte superior del molde pueda ser enrasado utilizando el borde la regla metálica.



Figura 38 Ensayo de Proctor Modificado - Procedimiento

Fuente: Elaboración Propia



Figura 39 Ensayo de Proctor Modificado – Suelo Natural
Fuente: Elaboración Propia



Figura 40 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



Figura 41 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



Figura 42 Ensayo de Proctor Modificado – SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5%
Fuente: Elaboración Propia



- ✎ Inmediatamente se extrae la muestra compactada de suelo del molde, se separa una muestra representativa cortando de manera vertical al eje de la muestra.
- ✎ Se anota y registra el peso de la muestra representativa, para luego ser llevada al horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C por un periodo de tiempo de 24 horas, hasta alcanzar un peso constante para determinar el contenido de agua.
- ✎ Para las siguientes muestras se repite el mismo procedimiento, obteniendo el contenido de humedad respectivo con los 4 puntos tomados.
- ✎ Para determinar la curva de compactación será necesario obtener el peso unitario seco resultante y el contenido de agua del suelo; con estos datos representar de manera gráfica dicha curva.

c) Toma de Datos

Véase las tablas las tablas 32, 33, 34 y 35 (MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180)

Tabla 32 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo Natural – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES				
Método = A				
Número de capas = 5				
Número de golpes por capa = 25				
Masa del pisón = 4.54 Kg				
Altura de caída del pisón = 45.72 cm				
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm ³)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,615.00	5,660.00	5,760.00	5,715.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
Densidad Seca (gr/cm³)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	17.02	16.49	18.81	18.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	85.92	90.94	100.47	106.93
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	80.59	83.85	90.89	95.13
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
Contenido de Humedad				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES
Método = A
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 25
Masa del pisón = 4.54 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,555.00	5,655.00	5,650.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Densidad Seca (gr/cm³)			
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	15.93	15.73	10.48
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	83.61	63.26	84.50
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.44	57.51	74.44
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 83% CCA 12% CAL 5%
– Toma de datos

DATOS PRELIMINARES
Método = A
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 25
Masa del pisón = 4.54 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,485.00	5,595.00	5,600.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Densidad Seca (gr/cm³)			
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	16.34	18.48	18.70
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	71.80	70.64	83.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.50	63.82	73.95
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35 Elección de Método de Ensayo de Proctor Modificado de Suelo 80% CCA 15% CAL 5%
– Toma de datos









DATOS PRELIMINARES
Método = A
Número de capas = 5
Número de golpes por capa = 25
Masa del pisón = 4.54 Kg
Altura de caída del pisón = 45.72 cm

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,460.00	5,570.00	5,575.50
Peso de la Muestra Húmeda (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Densidad Seca (gr/cm³)			
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	11.84	15.58	11.89
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.32	78.36	72.90
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	68.97	69.52	63.32
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
Contenido de Humedad			









Fuente: Elaboración Propia

3.5.7. Ensayo CBR “california bearing ratio”

a) Equipos

-  Pisón de compactación.
-  Molde de metal de 6” con collarín.
-  Disco espaciador de metal, con forma circular.
-  Aparato medidor de expansión.
-  Pesas de 4.54 kg.
-  Pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 kg.
-  Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1”) y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001”).
-  Pistón de penetración metálico de sección transversal circular.

b) Procedimiento

-  Se realizaron 4 ensayos, para cada ensayo de CBR se utilizó 15 kg; representando 15 kg el 100%: para el primer ensayo se utilizó 100% de material arcilloso para la subrasante, para el segundo ensayo se utilizó 88% de material adicionando 7% ceniza de cascarilla de arroz y 5% de cal, para el tercer ensayo se utilizó 83% de material adicionando 12% ceniza de cascarilla de arroz y 5% de cal, para el cuarto ensayo se utilizó 80% de material adicionando 15% de cascarilla de arroz y 5 % de cal.
-  Se lleva al horno las respectivas muestras para que sequen, después se añade agua correspondiente a la humedad óptima consiguiendo que la mezcla tenga un color homogéneo, luego se determina la humedad del suelo.
-  El material se coloca en bolsa de polietileno para el respectivo curado durante 24 horas.
-  Del ensayo de proctor modificado se consigue los datos de humedad óptima y de densidad máxima, porque los especímenes para el ensayo de CBR fueron compactados con la humedad óptima.
-  Se pesa el molde con su base, para después colocar el collarín junto al disco espaciador y un papel filtro que tenga el mismo diámetro del molde.
-  Se coloca el material dentro del molde, para compactar con 12, 26 y 56 golpes por capa.
-  Una vez compactado el material se procede a retirar la placa ubicada en la base, y la parte superior se pone cabizbajo para retirar el disco espaciador.
-  Se procede con la etapa de saturación: en la parte superior se coloca un papel filtro, luego colocamos la placa perforada y encima colocamos las pesas para la sobrecarga.

- ☞ Se procede a colocar el trípode y al canto el respectivo cuadrante medidor de deformaciones, luego se anota y se registra las lecturas para determinar las expansiones.
- ☞ Se sumerge los moldes en un recipiente lleno de agua durante 96 horas para que sean saturados, se tomara y anotara los registros en las horas: 0, 24, 48, 72 y 96.
- ☞ Pasada las 96 horas de inmersión se retira el molde del recipiente de agua, se deja escurrir el molde durante el periodo de 15 minutos en su posición normal, pasado el tiempo se retira la sobrecarga y la placa perforada y finalmente se pesa y registra el peso de la muestra.
- ☞ Inmediatamente se procede con el ensayo de penetración (no dejar que transcurra mucho tiempo), Se coloca el molde encima de la prensa ajustando el pistón para que quede centrado, se tiene que poner en cero el dial de deformación y el de presión del anillo de carga, se tiene que la penetración será de 0.05 pulgadas por minuto.
- ☞ Las lecturas de presión que se tomaron fueron: 0,00; 0,635; 1,270; 1,950; 2,540; 3,175; 3,810; 5,080; 7,620; 10,160; 12,70 mm de penetración. De las cuales se tomó en cuenta para la gráfica 2,540 mm y 5.080 mm.



Figura 43 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración Suelo

Fuente: Elaboración Propia



Figura 45 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 83%, CCA 12% y CAL 5%

Fuente: Elaboración Propia



Figura 44 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 88%, CCA 7% y CAL 5%

Fuente: Elaboración Propia

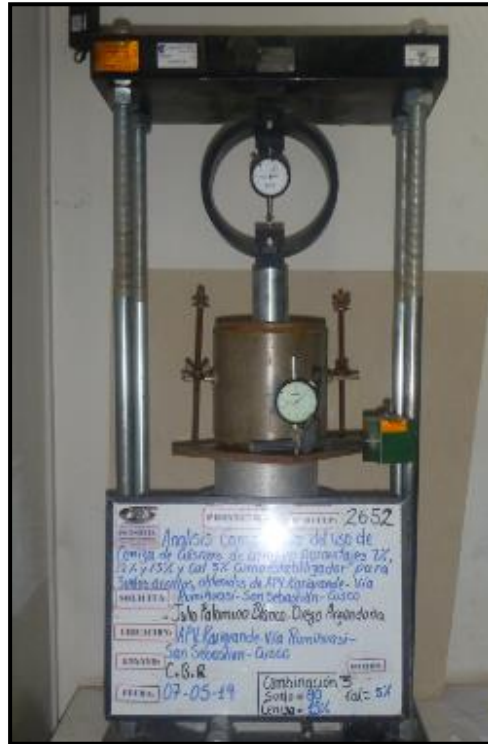


Figura 46 Ensayo CBR – Lectura de Precisión de Penetración SUELO 80%, CCA 15% y CAL 5%

Fuente: Elaboración Propia

☺ Al finalizar la prueba de penetración, se procede a desmontar las sobrecargas y retiramos el molde, se tendrá la muestra de suelo que se utilizó para el ensayo de donde se extrae dos partes: la primera de la zona donde se hizo la penetración y la segunda de la zona baja de la muestra, para determinar el contenido de humedad.

c) Toma de Datos

Véase las tablas 36, 37, 38 y 39 (MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193).

Tabla 36 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES														
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN					DATOS DEL MOLDE					
Densidad Seca Máxima = 1.88 cm ³ Contenido Humedad Óptimo = 13.24% Contenido Humedad Natural = 13.08%				Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5					Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm ² Volumen = 2123.92 cm ³					
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN														
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X				-1.11E-04 *X ² +0.0E+00 *X ³ (KN)										
Área del Pistón = 20.27 cm ²														
ENSAYO DE COMPACTACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03						
Número de Golpes por Capa		55			26			12						
Condición de la Muestra		Cont. Hum. Óptimo		Saturada	Cont. Hum. Óptimo		Saturada	Cont. Hum. Óptimo		Saturada				
Ubicación del Contenido de Humedad		Medio		Arriba	Medio		Arriba	Medio		Arriba				
Peso de Capsula (gr)		16.50		15.60	10.48		19.13	15.04		16.50				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)		96.96		93.74	91.32		99.56	102.97		80.01				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)		87.30		83.35	81.92		88.01	92.68		70.40				
Peso del Agua (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Contenido de Humedad														
Porcentaje de Absorción														
Peso del Molde (gr)		7120			7202			7208						
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)		11680		11820	11580		11795	11460		11700				
Peso de la Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua Absorbida (gr)														
Porcentaje de Absorción														
Densidad húmeda (gr/cm ³)														
Densidad Seca (gr/cm ³)														
ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03						
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	
0	0 hor 00 min	0				0				0				
0.0625	1 hor 30 min	10				27				16				
0.125	3 hor 00 min	15				35				29				
0.25	6 hor 00 min	23				47				48				
0.5	12 hor 00 min	45				82				77				
1	24 hor 00 min	49				86				78				
2	48 hor 00 min	65				96				82				
4	96 hor 00 min	80				99				84				
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	5				5				4			
	50	1.270	13				11				9			
	75	1.905	20				15				12			
70.31	100	2.540	26				17				14			
	125	3.175	30				22				18			
105.46	150	3.810	34				25				20			
	200	5.080	42				29				23			
	300	7.620	54				35				27			
	400	10.160	62				41				31			
	500	12.700	71				47				36			

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 37 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES														
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN						DATOS DEL MOLDE				
Densidad Seca Máxima = 1.80 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 14.08% Contenido Humedad Natural = 13.08%				Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5						Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3				
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN														
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X				-1.11E-04 *X ²		+0.0E+00 *X ³		(KN)						
Área del Pistón = 20.27 cm2														
ENSAYO DE COMPACTACIÓN														
Muestra	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03							
Número de Golpes por Capa	55			26			12							
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada		Cont. Hum. Óptimo	Saturada		Cont. Hum. Óptimo	Saturada						
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba		Medio	Arriba		Medio	Arriba						
Peso de Capsula (gr)	19.08	11.89		16.50	16.21		19.18	15.92						
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	84.43	74.10		82.39	93.81		84.89	87.85						
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	75.79	64.98		73.34	81.96		76.20	75.82						
Peso del Agua (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Contenido de Humedad														
Porcentaje de Absorción														
Peso del Molde (gr)	7210			6905			7260							
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11580	11695		11030	11220		11150	11717						
Peso de la Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua Absorbida (gr)														
Porcentaje de Absorción														
Densidad húmeda (gr/cm3)														
Densidad Seca (gr/cm3)														
ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	
0	0 hor 00 min	0				0				0				
0.0625	1 hor 30 min	5				17				29				
0.125	3 hor 00 min	7				20				31				
0.25	6 hor 00 min	11.5				22.5				34				
0.5	12 hor 00 min	21				27				39				
1	24 hor 00 min	22				27.5				39.5				
2	48 hor 00 min	25.5				30				42				
4	96 hor 00 min	26				30				43				
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	21				13				13			
	50	1.270	57				38				27			
	75	1.905	94				66				40			
70.31	100	2.540	124				90				51			
	125	3.175	147				110				56			
	150	3.810	165				125				62			
105.46	200	5.080	190				143				72			
	300	7.620	220				159				84			
	400	10.160	243				175				96			
	500	12.700	265				191				108			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES														
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN				DATOS DEL MOLDE						
Densidad Seca Máxima = 1.72 cm ³				Peso del Martillo = 4.54 Kg				Diámetro del Molde = 15.24 cm						
Contenido Humedad Óptimo = 15.28%				Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm				Altura del Molde = 17.78 cm						
Contenido Humedad Natural = 13.08%				Número de Capas = 5				Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm						
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN														
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01				+3.4E+00 *X		-1.11E-04 *X ²		+0.0E+00 *X ³		(KN)				
Área del Pistón = 20.27 cm ²				Área = 182.41 cm ²						Volumen = 2123.92 cm ³				
ENSAYO DE COMPACTACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03						
Número de Golpes por Capa		55			26			12						
Condición de la Muestra		Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada							
Ubicación del Contenido de Humedad		Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba							
Peso de Capsula (gr)		16.50	18.71	11.67	15.72	18.41	18.46							
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)		77.49	93.79	66.31	87.80	82.13	85.94							
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)		69.46	83.61	59.25	75.98	73.63	73.82							
Peso del Agua (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Contenido de Humedad														
Porcentaje de Absorción														
Peso del Molde (gr)		7115		7375		7445								
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)		11250	11430	11265	11530	11070	11420							
Peso de la Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua Absorbida (gr)														
Porcentaje de Absorción														
Densidad húmeda (gr/cm ³)														
Densidad Seca (gr/cm ³)														
ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03						
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	
0	0 hor 00 min	0				0				0				
0.0625	1 hor 30 min	11.5				26				24				
0.125	3 hor 00 min	21.5				24				32				
0.25	6 hor 00 min	22				25				33				
0.5	12 hor 00 min	25				27				35				
1	24 hor 00 min	25				27				35				
2	48 hor 00 min	25.5				28				36				
4	96 hor 00 min	26				28.5				37				
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03				
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%		kg	kg/cm ²	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	6				9				12			
	50	1.270	28				31				28			
	75	1.905	65				57				44			
70.31	100	2.540	102				82				58			
	125	3.175	135				106				68			
	150	3.810	164				126				77			
105.46	200	5.080	206				150				89			
	300	7.620	248				168				104			
	400	10.160	279				183				118			
	500	12.700	298				196				127			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Toma de datos

DATOS PRELIMINARES														
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN						DATOS DEL MOLDE				
Densidad Seca Máxima = 1.68 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 17.08% Contenido Humedad Natural = 13.08%				Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5						Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3				
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN														
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X -1.11E-04 *X ² +0.0E+00 *X ³ (KN)				Área del Pistón = 20.27 cm2										
ENSAYO DE COMPACTACIÓN														
Muestra	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03							
Número de Golpes por Capa	55			26			12							
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada		Cont. Hum. Óptimo	Saturada		Cont. Hum. Óptimo	Saturada						
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba		Medio	Arriba		Medio	Arriba						
Peso de Capsula (gr)	15.97	19.11		18.23	10.48		14.95	16.35						
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	58.26	104.68		64.94	87.16		65.18	99.46						
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	52.08	90.41		58.04	73.95		57.85	81.98						
Peso del Agua (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Contenido de Humedad														
Porcentaje de Absorción														
Peso del Molde (gr)	7250			7105			6780							
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11400	11560		10965	11255		10345	10745						
Peso de la Muestra Húmeda (gr)														
Peso de la Muestra Seca (gr)														
Peso del Agua Absorbida (gr)														
Porcentaje de Absorción														
Densidad húmeda (gr/cm3)														
Densidad Seca (gr/cm3)														
ENSAYO DE EXPANSIÓN														
Muestra	MUESTRA 01					MUESTRA 02					MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de		Dial	Deform		% de		Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.		*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0				0					0			
0.0625	1 hor 30 min	5				20					15			
0.125	3 hor 00 min	5				24					20			
0.25	6 hor 00 min	9.5				22.5					26			
0.5	12 hor 00 min	9.5				23					26			
1	24 hor 00 min	10				23.5					27			
2	48 hor 00 min	10				23.5					27			
4	96 hor 00 min	10				23.5					27			
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03							
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración		Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%		kg	kg/cm2	%
	0	0.000	0				0				0			
	25	0.635	15				5				10			
	50	1.270	22				20				26			
	75	1.905	40				30				39			
70.31	100	2.540	63				48				42			
	125	3.175	81				72				57			
	150	3.810	95				91				65			
105.46	200	5.080	125				117				77			
	300	7.620	182				145				93			
	400	10.160	223				160				106			
	500	12.700	258				172				120			

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Procedimiento de Análisis de Datos

3.6.1. Ensayo de contenido de humedad

3.6.1.1. Procesamiento de datos y cálculos

Se emplea la siguiente fórmula para hallar el contenido de humedad:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad expresado en porcentaje (%).

Ww: Peso del agua (gr).

Ws: Peso del material (gr).

W₁: Peso de la tara más el suelo húmedo (gr).

W₂: Peso de la tara más el suelo seco (gr).

W_t: Peso de la tara (gr).

3.6.1.2. Diagrama del Ensayo

Tabla 40 Contenido de humedad Suelo Natural – Procesamiento de Datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01
Peso de Capsula (gr)	35.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	384.32
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	344.01
Peso del Agua (gr)	40.31
Peso de la Muestra Seca (gr)	308.11
Contenido de Humedad	13.08%

Fuente: *Elaboración Propia*

3.6.1.3. Análisis de prueba

Conforme con los resultados, el material ensayado presenta un contenido de humedad natural de 13.08%.

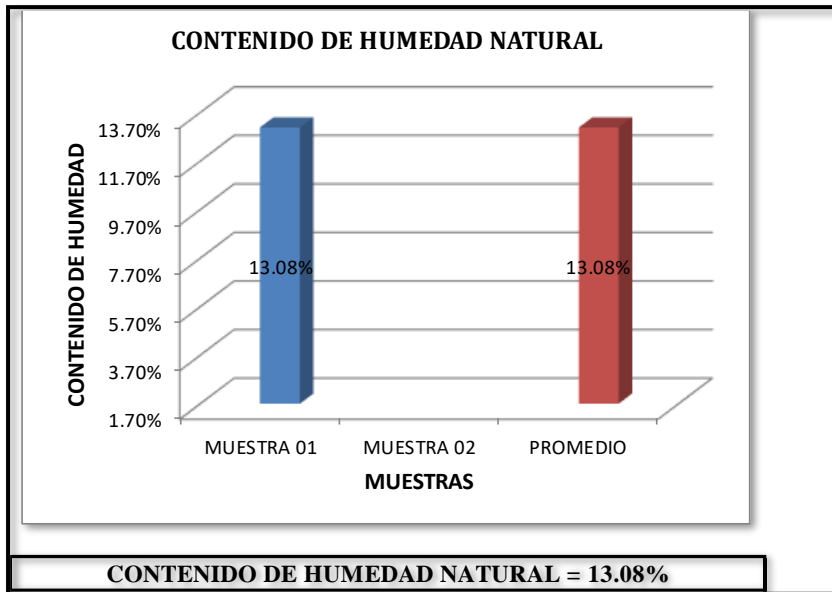


Figura 47 Contenido de Humedad Natural

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2. Ensayo de Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

3.6.2.1. Procesamiento del ensayo

Realizado el tamizado del material se procede a calcular el porcentaje retenido sobre cada uno de los tamices, usando la siguiente ecuación:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Es importante calcular el porcentaje de los finos, estando en forma acumulativa del cien por ciento de los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices.

$$\%Pasa = 100\% - \%Retenido Acumulado$$

Una vez obtenida la curva de distribución granulométrica, se pasa a obtener los diámetros que correspondan; D₁₀, D₈₅, D₆₀, etc. La variable D hace referencia al tamaño del grano de la partícula



de un determinado suelo, y el subíndice hace referencia al porcentaje de la materia más fina: 10, 85, 60, etc.; al tamaño efectivo de suelo se le conoce al diámetro D_{10} (Bowles, 1981).

El coeficiente de Uniformidad C_u , indica el rango o variación del tamaño de los granos presentes en la muestra, que viene a ser la relación entre el D_{10} y D_{60} .

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Esta relación hace referencia que los diámetros D_{10} y D_{60} difieren en tamaño apreciablemente, dejando la incertidumbre que haya un vacío de gradación.

C_c , el coeficiente de concavidad e, sirve para medir la forma de la curva entre D_{10} y D_{60} , representado por la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}/D_{60}}$$

Los datos del ensayo se realizaron bajo la tutela del Manual de ensayos de Materiales - 2016 (MTC E 107 - 2016, basado en la Norma ASTM D-422).

3.6.2.2. Diagrama del Ensayo

Véase la tabla 41 (MTC E 107, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88)

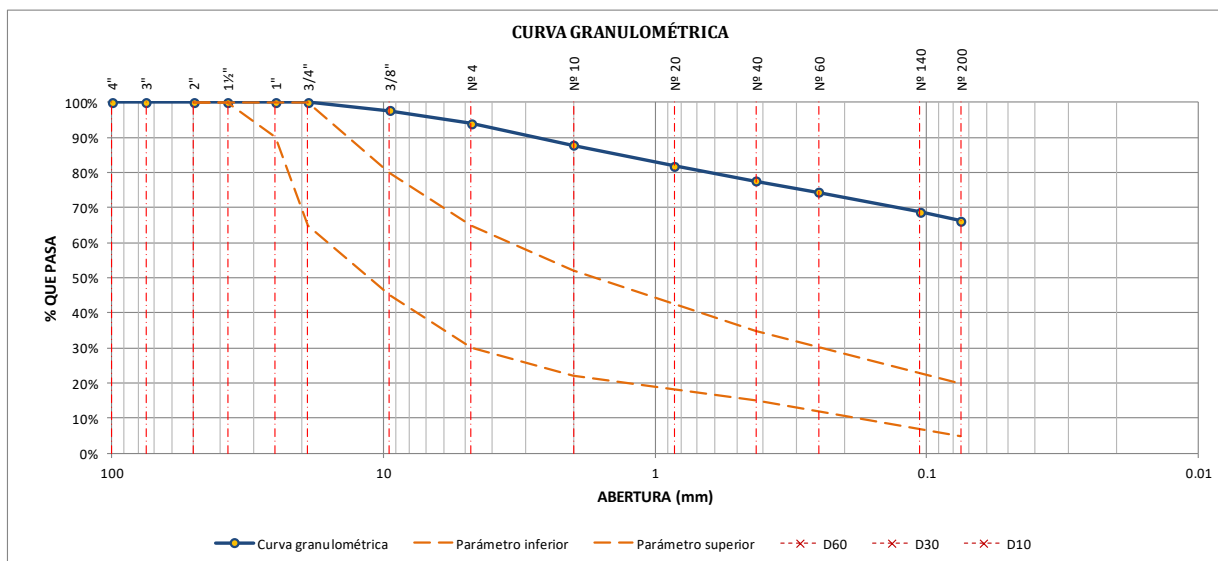
Tabla 41 Ensayo Granulométrico – Procesamiento de Datos

MATERIAL NO LAVADO				FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO				
Peso total de la muestra = 2,033.24 gr				Peso de la fracción antes del lavado = 2033.24 gr				
Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr				Peso de la fracción después de lavar = 693.37 gr				
Peso de la fracción para lavado = 2033.24 gr				% de la fracción lavada = 100.00%				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	46.21	6.66%	0.00%	6.67%	2.27%	2.27%	97.73%
Nº 4	4.75	75.47	10.88%	0.00%	10.89%	3.71%	5.99%	94.01%
Nº 10	2	127.68	18.41%	0.00%	18.42%	6.28%	12.27%	87.73%
Nº 20	0.850	119.64	17.25%	0.00%	17.26%	5.89%	18.15%	81.85%
Nº 40	0.425	88.16	12.71%	0.00%	12.72%	4.34%	22.49%	77.51%
Nº 60	0.250	63.95	9.22%	0.00%	9.23%	3.15%	25.64%	74.36%
Nº 140	0.106	114.91	16.57%	0.00%	16.58%	5.65%	31.29%	68.71%
Nº 200	0.075	50.33	7.26%	0.00%	7.26%	2.48%	33.76%	66.24%
Cazuela	-	6.87	0.99%	0.00%	0.99%	0.34%	34.10%	-
Lavado	-	1339.87	-	-	-	65.90%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		693.22	99.98%	0.02%	100.00%	34.10%		
Total		2033.09		%Error = 0.02% Ok!		100.00%		

Gradación: A 1		
TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	100%	100%
1" (25 mm)	90%	100%
¾" (19 mm)	65%	100%
⅜" (9.5 mm)	45%	80%
Nº 4 (4.75 mm)	30%	65%
Nº 10 (2 mm)	22%	52%
Nº 40 (0.425 mm)	15%	35%
Nº 200 (0.075 mm)	5%	20%

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra
 % de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 5.99%
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 27.78%
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 66.24%
 Total: 100.00%

Fracción Gruesa
 % de grava = 17.73%
 % de arena = 82.27%
 Total = 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 3/4"
D60 = -
D30 = -
D10 = -

Tamaño Máximo Nominal = Nº 4
Cu = -
Cc = -

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.3. Análisis del ensayo

De acuerdo a la norma, en el ensayo de granulometría por tamizado se toma en cuenta el peso del material antes de ser lavado (peso total) y el material después de ser lavado, este material fue separado en 2 fracciones: La que pasa la malla N°4 hace referencia a la fracción gruesa caso contrario la retenida por la malla N°4 hace referencia a la fracción fina.

Como se aprecia en el diagrama del ensayo, se observa que el suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián posee una gran cantidad de porcentajes de arena y finos.

Según la curva granulométrica del ensayo, se aprecia que D_{10} , D_{60} y D_{30} no llegan a intersecar debido a que el suelo es sumamente fino.

3.6.3. Determinación del Límite líquido

3.6.3.1. Procesamiento del Ensayo

Se calculó el contenido de humedad de la muestra mediante la siguiente formula:

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad (%)
- M_{CWS} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)
- M_{CS} = Peso del recipiente más suelos secado al horno (gr)
- M_C = Peso del recipiente (gr)
- M_W = Peso del agua (gr)
- M_S = Peso de las partículas sólidas (gr)

Con los datos obtenidos en laboratorio se procede a calcular la curva de fluidez en una curva semi-logarítmica, donde en el eje de las ordenadas estará ubicado los contenidos de humedad, en el eje de las abscisas estarán ubicados los numero de golpes que se realiza en la cazuela de Casa Grande,

esta curva de flujo es una línea recta promedio, que pasa tan cerca como sea posible a traes de los tres puntos o más puntos dibujados.

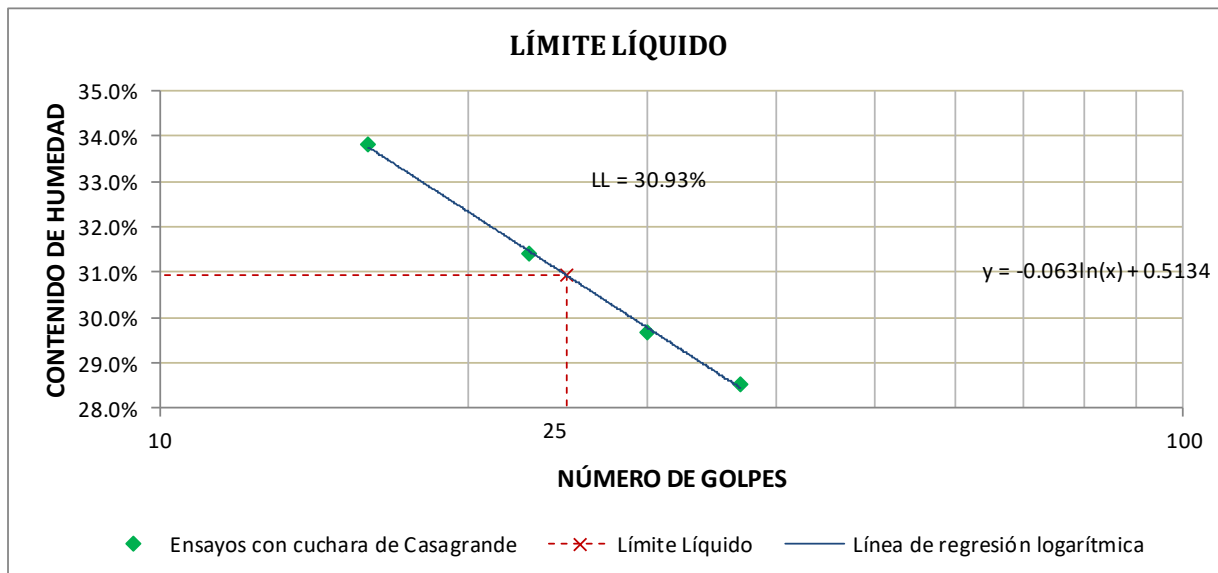
Se tomó el contenido de humedad que corresponde a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido de suelo y el valor se aproxima a un número entero.

3.6.3.2. Diagrama del ensayo

Véase las tablas 42, 43, 44 y 45 (MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90).

Tabla 42 Ensayo de limite liquido de Suelo Natural – Procesamiento de datos

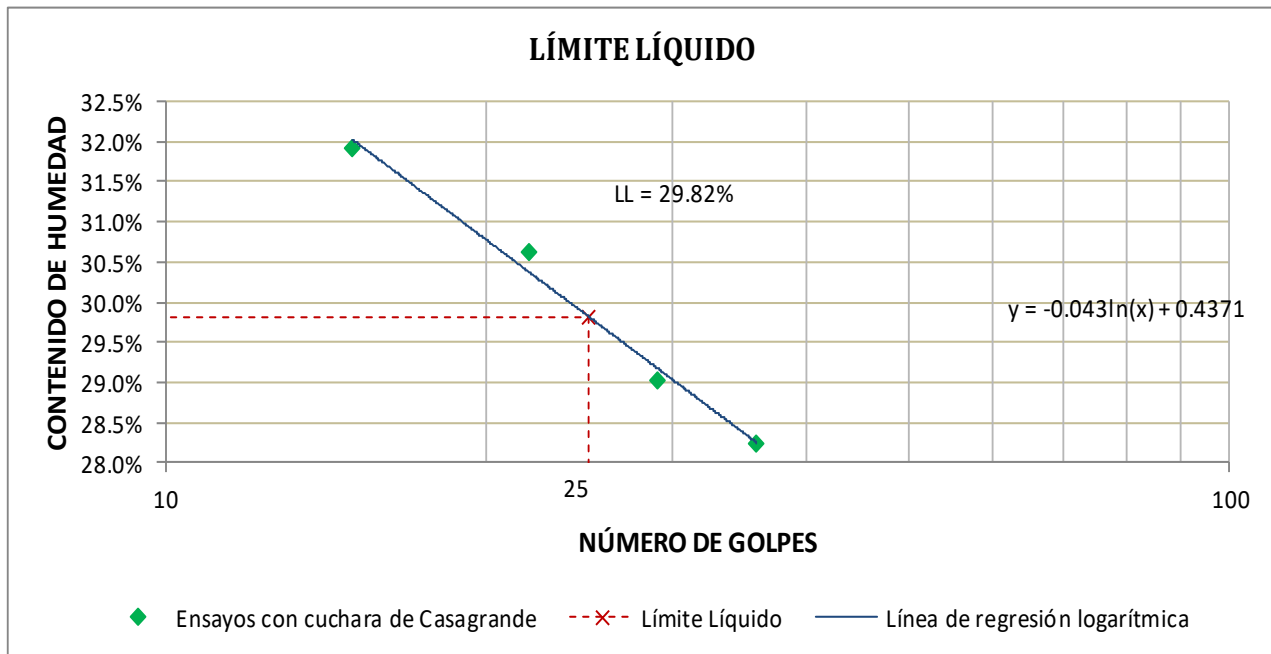
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	8.73	8.00	9.53	9.76
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	33.10	31.24	31.92	33.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	27.69	25.92	26.57	27.77
Peso del Agua (gr)	5.41	5.32	5.35	6.09
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.96	17.92	17.04	18.01
Contenido de Humedad	28.53%	29.69%	31.40%	33.81%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43 Ensayo de limite liquido de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos

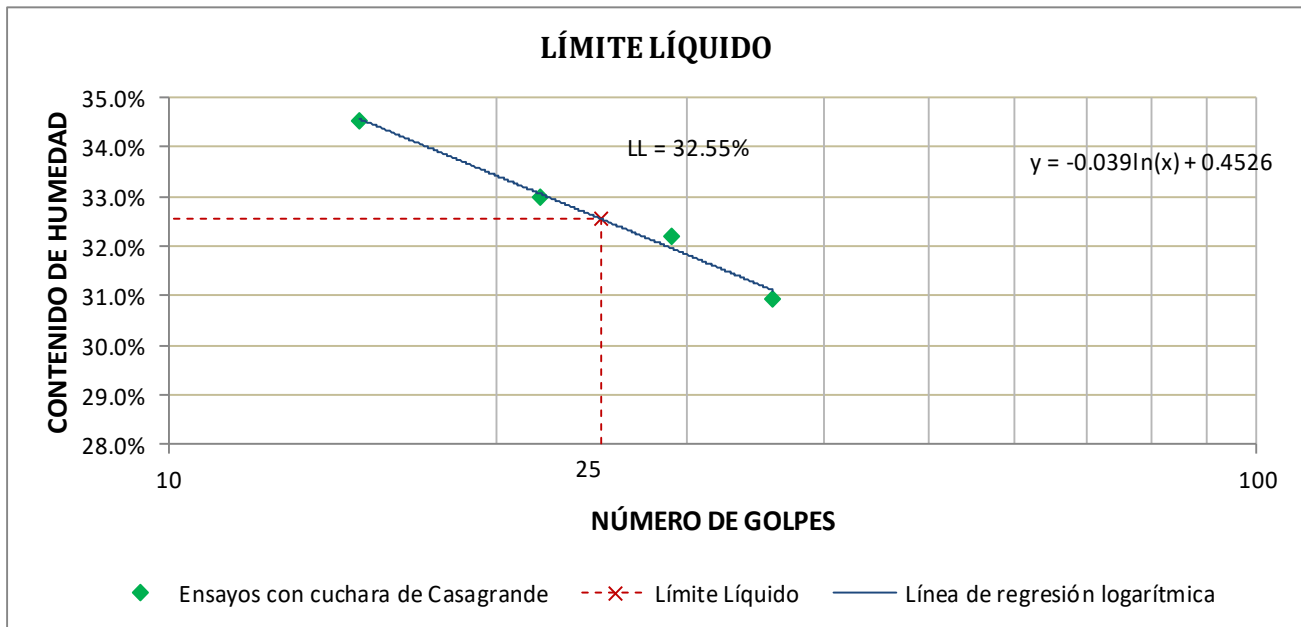
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	36	29	22	15
Peso de Capsula (gr)	6.45	8.12	9.61	8.39
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29.70	29.85	33.15	31.91
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.58	24.96	27.63	26.22
Peso del Agua (gr)	5.12	4.89	5.52	5.69
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.13	16.84	18.02	17.83
Contenido de Humedad	28.24%	29.04%	30.63%	31.91%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44 Ensayo de limite liquido de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos

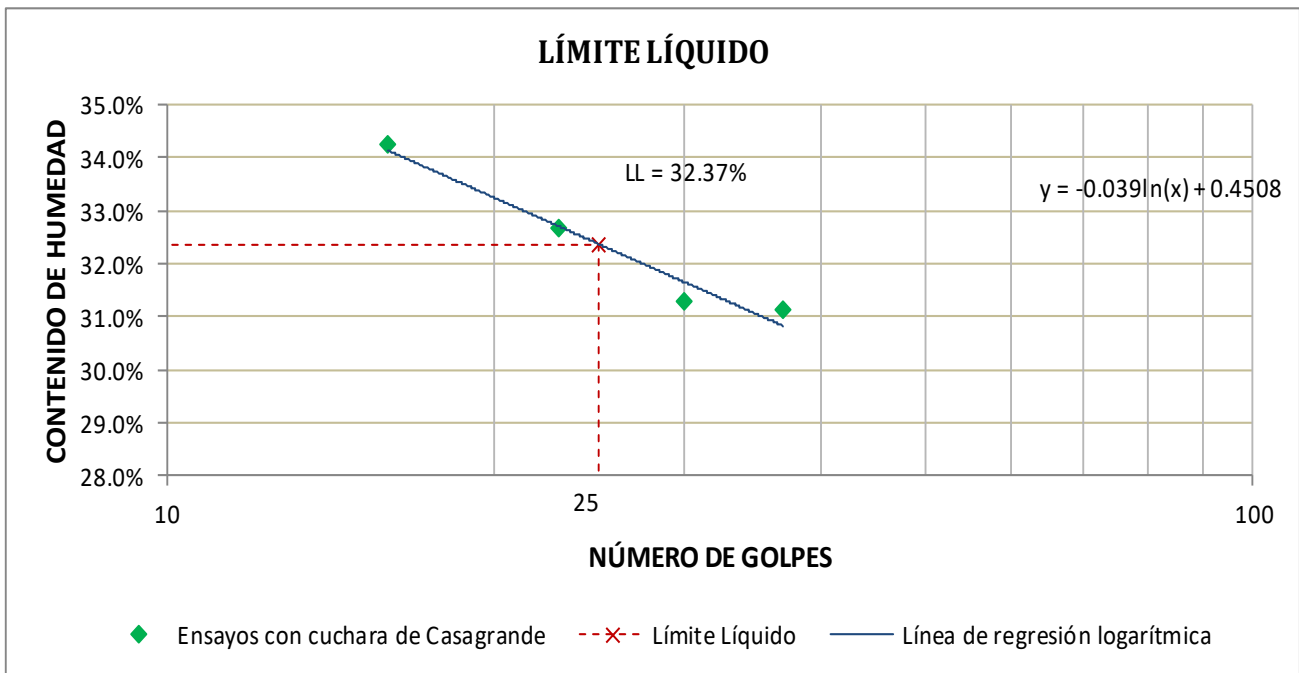
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	36	29	22	15
Peso de Capsula (gr)	7.82	9.79	9.39	9.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.82	30.35	30.15	31.44
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	22.33	25.34	25.00	25.80
Peso del Agua (gr)	4.49	5.01	5.15	5.64
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.51	15.55	15.61	16.33
Contenido de Humedad	30.94%	32.22%	32.99%	34.54%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45 Ensayo de limite liquido de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	8.02	9.55	6.19	7.70
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	28.79	31.29	29.34	29.18
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.86	26.11	23.64	23.70
Peso del Agua (gr)	4.93	5.18	5.70	5.48
Peso de la Muestra Seca (gr)	15.84	16.56	17.45	16.00
Contenido de Humedad	31.12%	31.28%	32.66%	34.25%



Fuente: Elaboración Propia

3.6.3.3. Análisis del Ensayo

Se obtiene que el límite líquido del suelo natural es de 30.93%, donde se aprecia que aumenta de manera insignificante al adicionarle CCA y CAL en distintos porcentajes con relación al agua de mezcla.

Se observa que el incremento del límite líquido máximo es de 32.55% al adicionarle 12% de CCA y 5% de CAL.

Se observa que al adicionar 7% de CCA y 5% de CAL, el límite líquido disminuye respecto al suelo natural, teniendo un valor de 29.82%.

Por último, el límite líquido al añadir 15% de CCA y 5%, disminuye respecto al límite líquido al añadir 12% de CCA y 5% de CAL; teniendo un valor de 32.37%

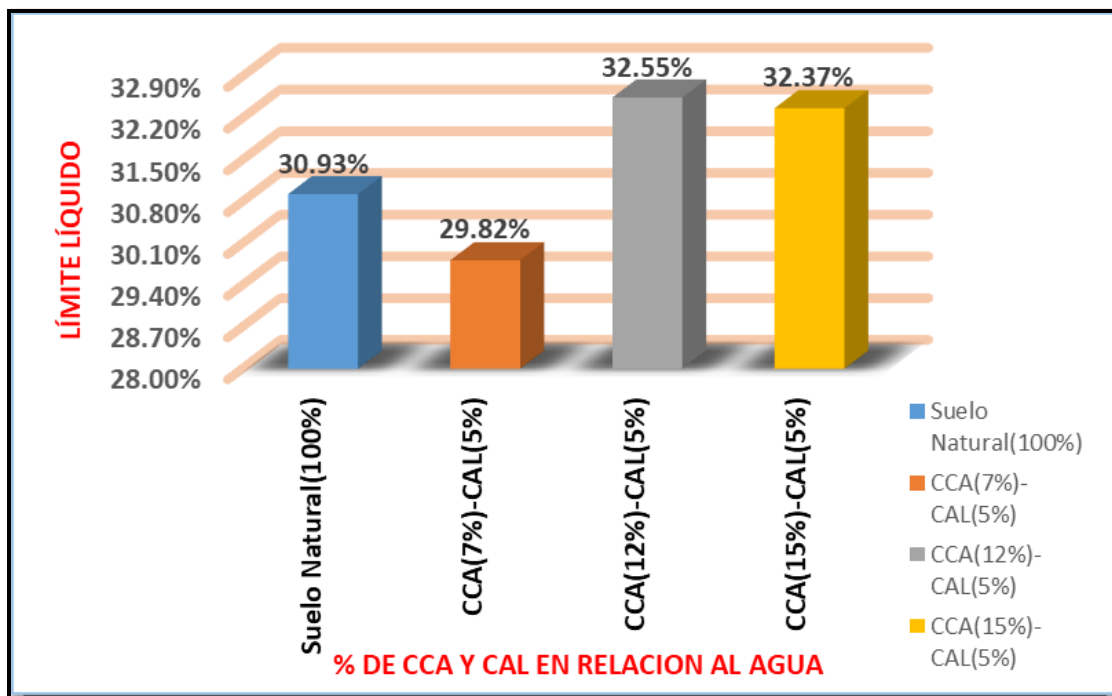


Figura 48 Variación del límite líquido con diferentes porcentajes de adición de ceniza de cascara de arroz y cal

Fuente: Elaboración Propia



3.6.4. Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (I.P.)

3.6.4.1. Procesamiento del Ensayo

Para hallar el contenido de humedad de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula

$$W = \frac{\text{peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100 \rightarrow W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad (%)
- M_{CWS} = Peso del recipiente más suelo húmedo (gr)
- M_{CS} = Peso del recipiente más suelos secado al horno (gr)
- M_C = Peso del recipiente (gr)
- M_W = Peso del agua (gr)
- M_S = Peso de las partículas sólidas (gr)

El límite plástico se calculó promediando las humedades de las muestras obtenidas, considerando la desviación estándar y el rango de aceptabilidad de los resultados sujetos a la norma.

Respecto al índice de plasticidad, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP: Índice de Plasticidad
- LL: Limite Liquido
- LP: Limite Plástico

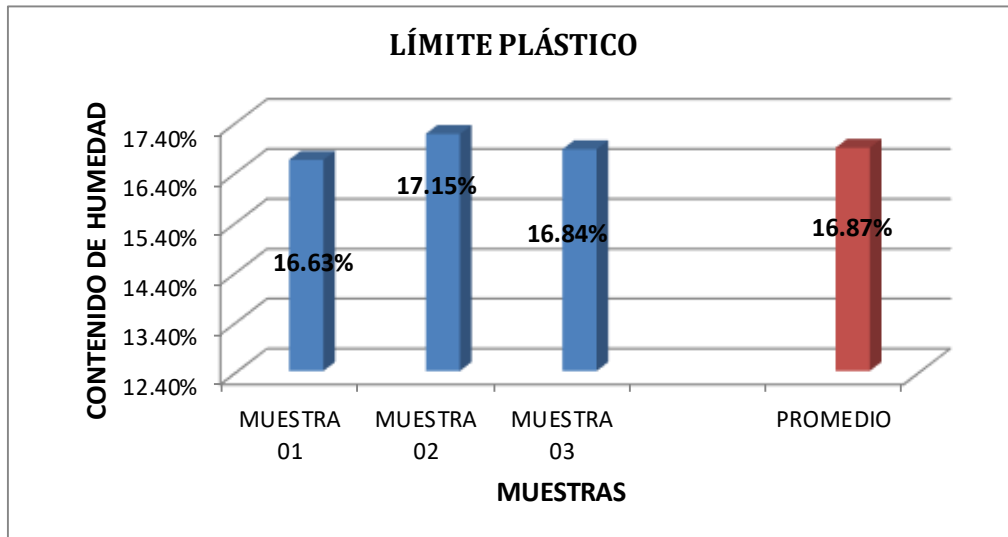
El procesamiento de los datos de este ensayo está sujeto al Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (MTC E 11 – 2016, NTP 339.119).

3.6.4.2. Diagrama del Ensayo

Véase tablas 46, 47, 48 y 49 (MTC E 111, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90)

Tabla 46 Ensayo de limite plástico de Suelo Natural – Procesamiento de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	5.79	9.16	8.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.05	14.83	13.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	10.30	14.00	12.75
Peso del Agua (gr)	0.75	0.83	0.80
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.51	4.84	4.75
Contenido de Humedad	16.63%	17.15%	16.84%

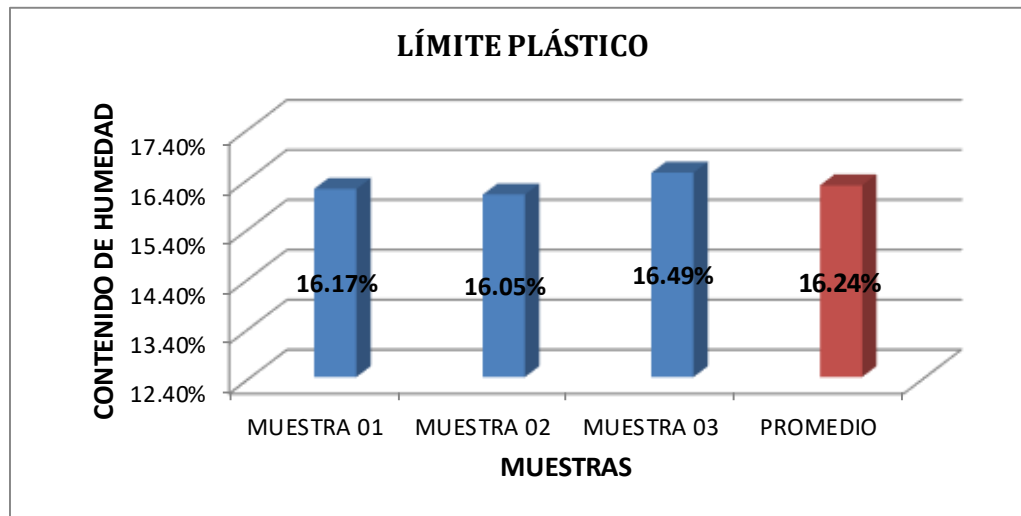


LÍMITE LÍQUIDO = 30.93%
LÍMITE PLÁSTICO = 16.87%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 14.06%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47 Ensayo de limite plástico de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.21	8.13	9.36
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	15.39	15.07	17.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.53	14.11	16.03
Peso del Agua (gr)	0.86	0.96	1.10
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.32	5.98	6.67
Contenido de Humedad	16.17%	16.05%	16.49%

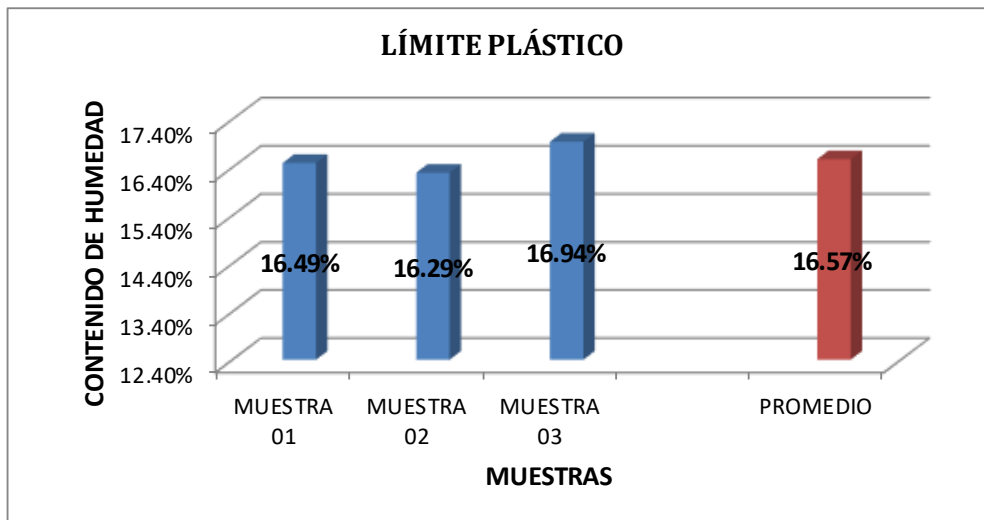


LÍMITE LÍQUIDO = 29.82%
LÍMITE PLÁSTICO = 16.24%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 13.58%

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 48 Ensayo de limite plástico de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.23	9.34	8.23
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	15.87	16.05	15.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	14.93	15.11	14.43
Peso del Agua (gr)	0.94	0.94	1.05
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.70	5.77	6.20
Contenido de Humedad	16.49%	16.29%	16.94%

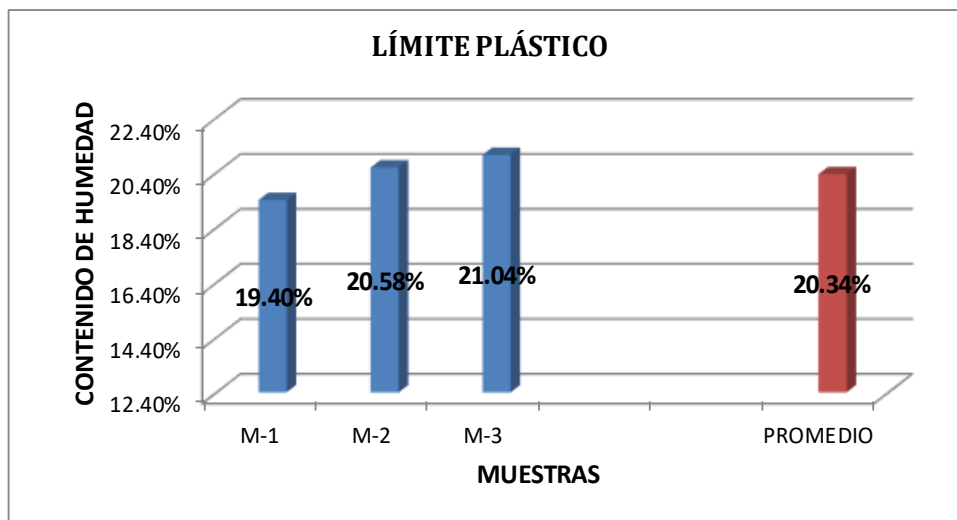


LÍMITE LÍQUIDO = 32.55%
LÍMITE PLÁSTICO = 16.57%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 15.98%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49 Ensayo de limite plástico de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos

DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	M-3
Peso de Capsula (gr)	11.62	8.21	6.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	17.22	13.60	11.42
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	16.31	12.68	10.53
Peso del Agua (gr)	0.91	0.92	0.89
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.69	4.47	4.23
Contenido de Humedad	19.40%	20.58%	21.04%



LÍMITE LÍQUIDO = 32.37%
LÍMITE PLÁSTICO = 20.34%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 12.03%

Fuente: Elaboración Propia

3.6.4.3. Análisis del Ensayo

El espécimen falla al pasar de un estado plástico a uno semisólido (LP), a una humedad de 16.87%, además el suelo también puede ser clasificado de acuerdo al índice de plasticidad.

Como se observa el límite plástico aumenta al añadir 15% de CCA y 5% de CAL, teniendo un valor del 20.34%.

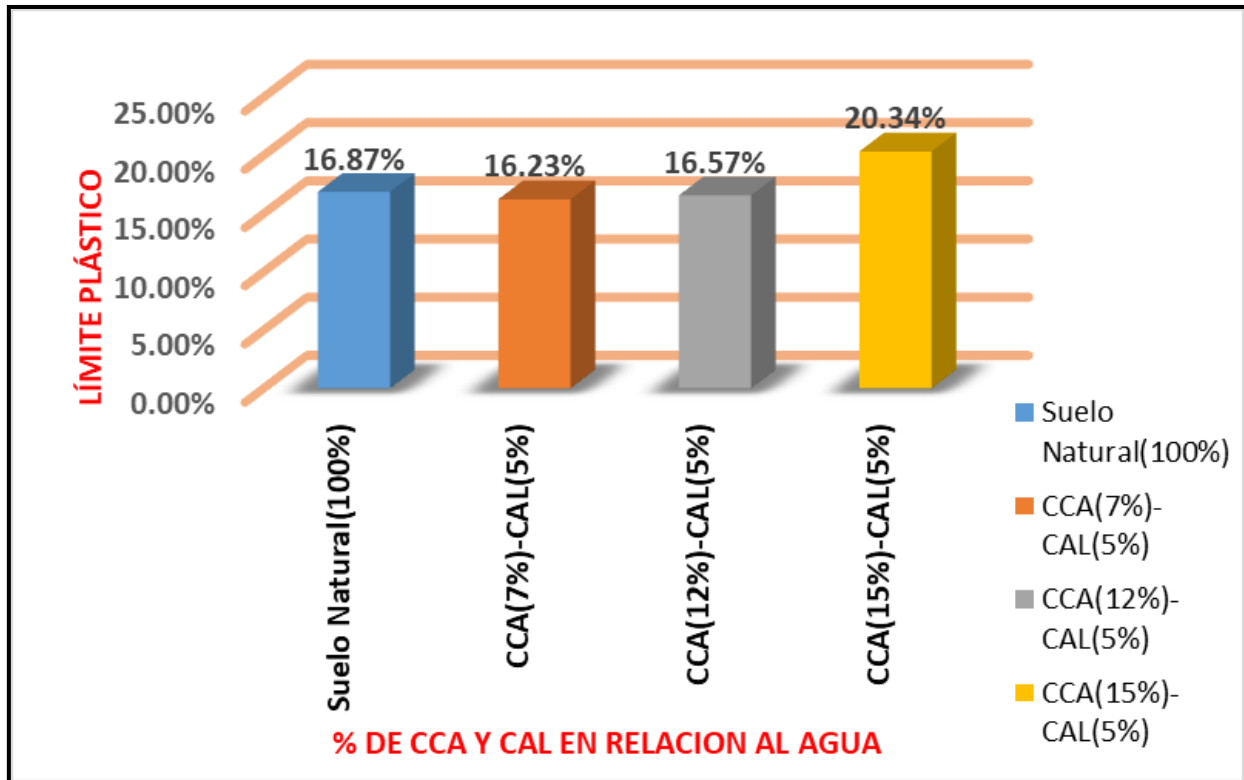


Figura 49 Variación del límite plástico del suelo con diferentes porcentajes de adición de ceniza de cascara de arroz y cal

Fuente: Elaboración Propia

“Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso, caso contrario un IP pequeño representa a un suelo poco arcilloso” (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014).

El Índice de Plasticidad de nuestro suelo natural es de 16.87%, el cual indica una plasticidad media, que es característico de un suelo arcilloso.

“Se utilizará la abreviatura NP (no plástico) cuando el límite líquido o límite plástico no pueda determinarse, o también cuando el límite plástico sea mayor o igual al límite líquido, el IP se informa como NP (no plástico)” (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2014).



3.6.5. Clasificación de Suelos

3.6.5.1. Procesamiento del Ensayo

Para poder clasificar nuestro suelo, se utilizó dos métodos: Método AASHTO y el método SUCS; donde se requiere datos obtenidos del ensayo de granulometría, límites de Atterberg e Índice de grupo (IG), para lo cual se utiliza la fórmula:

$$IG = 0.2a + 0.05ac + 0.01bd$$

Donde:

- $a = F-35$
(F = fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 – 74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- $b = F-15$
(F = fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 – 74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- $c = LL-40$
(LL = límite líquido).
Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.
- $d = IP-10$
(IP = índice plástico).
Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

(MTC, 2014).

1. Clasificación por el Método AASHTO

Tabla 50 Clasificación de suelo según AASHTO – Toma de datos

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz N° 10 = 87.73%	LL = 30.93%	Tipo : Orgánico
% que pasa el tamiz N° 40 = 77.51%	LP = 16.87%	
% que pasa el tamiz N° 200 = 66.24%	IP = 14.06%	

Fuente: Propia

Tabla 51 Clasificación de Suelos – Método AASHTO - 1

Clasificación general	Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)			Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
	A - 1	A - 3*	A - 2	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
GRUPOS							
Porcentaje que pasa el tamiz:							
No. 10 (2.00 mm)	-	-	-	-	-	-	-
No. 40 (0.425 mm)	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-
No. 200 (0.075 mm)	25 máx.	10 mín.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (Ø.425 mm):							
Límite líquido	-	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad.	6 máx.	NP	-	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.

* La colocación de A-3 antes A-2, se hace únicamente por razones de ordenamiento de cantidades.

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002)

Tabla 52 Clasificación de Suelos – Método AASHTO - 2

Clasificación general	Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
	A - 1		A - 2					A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b	A - 3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: No. 10 (2.00 mm) No. 40 (0.425 mm) No. 200 (0.075 mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	— 50 máx. 25 máx.	— 51 mín. 10 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm): Límite líquido Índice de plasticidad	— 6 máx.	— NP	— 40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.*	
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno			Regular a malo				

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LI-30.
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI-30.

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002)

2. Clasificación método SUCS

Tabla 53 Clasificación de Suelos según SUCS – Toma de datos

DATOS PARA CLASIFICACIÓN						
% de Gruesos	= 33.76%	Fracción Gruesa		De Límites de Consistencia		Otros Datos
% de Finos	= 66.24%	% de Grava	= 17.73%	LL =	30.93%	
Total	= 100%	% de Arena	= 82.27%	LP =	16.87%	Tipo = Inorgánico
% de Grava	= 5.99%	Total	= 100%	IP =	14.06%	
% de Arena	= 27.78%	Coefficientes		Cu =	-	
Total	= 33.76%			Cc =	-	

Fuente: *Elaboración Propia*

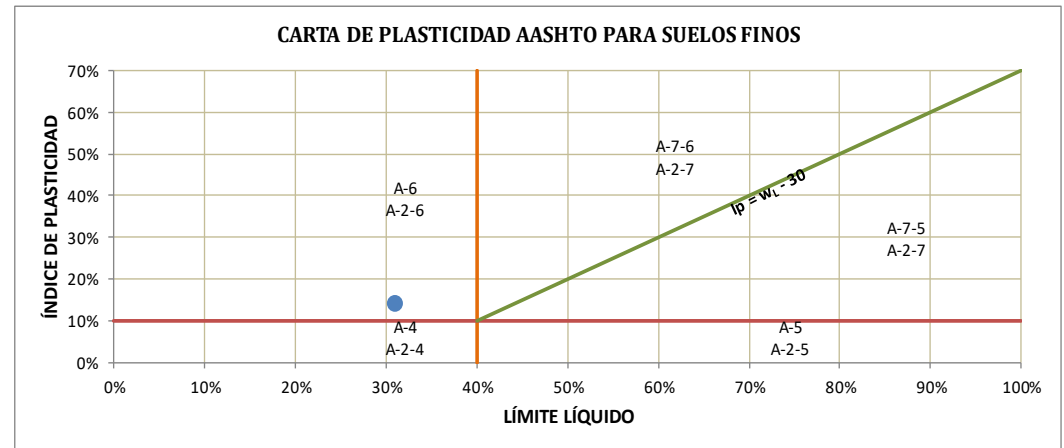
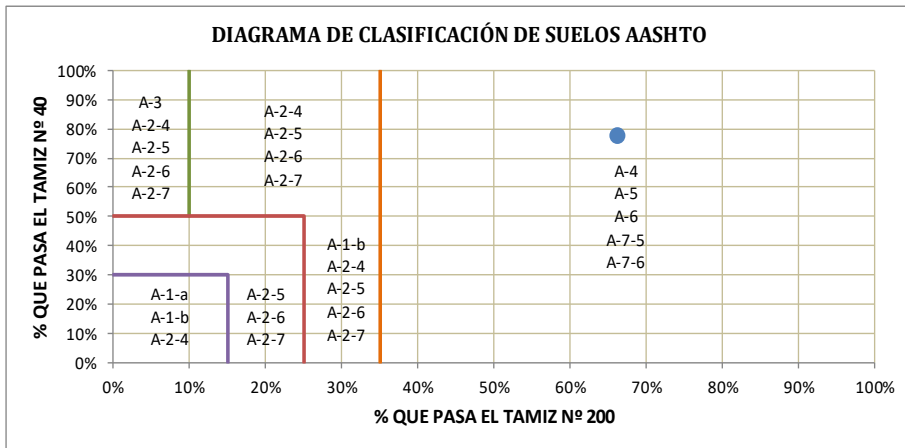


3.6.5.2. Diagrama del Ensayo

Véase las tablas 53 y 54 (AASHTO M-145 y ASTM D-2487)

Tabla 54 Clasificación de Suelos según AASHTO – Procesamiento de datos

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	De Límites de Consistencia
% que pasa el tamiz Nº 10 = 87.73%	LL = 30.93%
% que pasa el tamiz Nº 40 = 77.51%	LP = 16.87%
% que pasa el tamiz Nº 200 = 66.24%	IP = 14.06%



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO	
F = 66.24	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200
w _L = 30.93	w _L = Límite líquido
I _p = 14.06	I _p = Índice de plasticidad

a = F - 35	a = 31.24	a = 31.24
b = F - 15	b = 51.24	b = 40.00
c = w _L - 40	c = -9.07	c = 0.00
d = I _p - 10	d = 4.06	d = 4.06

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

$$IG = 8$$

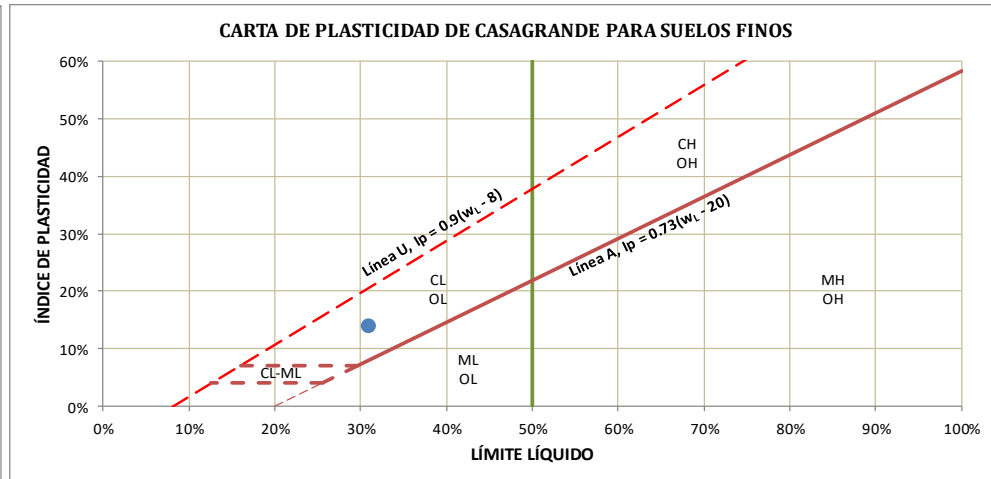
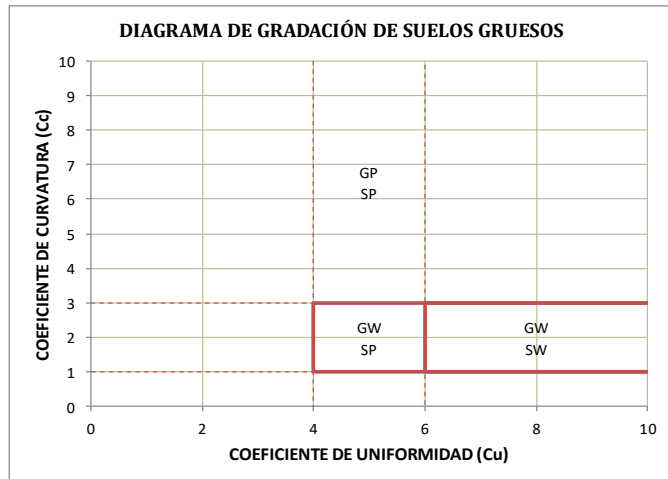
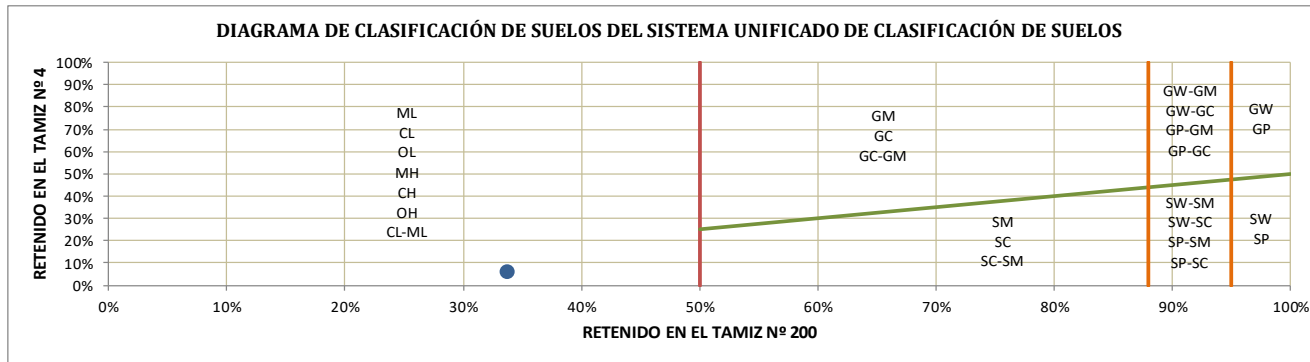
A-6 (8) = Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo
 NOTA: El Equipo ideal de Compactación que recomienda la AASHTO para este tipo de suelo es: Rodillo Neumático y Pata de Cabra

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 55 Clasificación de Suelos según SUCS – Procesamiento de datos

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS				
% de Gruesos	= 33.76%	Fración Gruesa		De Límites de Consistencia
% de Finos	= 66.24%	% de Grava	= 17.73%	LL = 30.93%
Total	= 100%	% de Arena	= 82.27%	LP = 16.87%
% de Grava	= 5.99%	Total	= 100%	IP = 14.06%
% de Arena	= 27.78%	Coefficientes		Cu = -
Total	= 33.76%			Cc = -
Otros Datos				
Tipo = Inorgánico				



CL = Arcilla ligera de baja plasticidad con arena
 El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5.3. Análisis de la Clasificación de Suelos

El suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, según la clasificación de suelos normado por AASHTO, tiene un $IG = 8$ que contiene partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

El suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, según la clasificación de suelos normado por SUCS, está en el grupo CL que contiene arcilla ligera de baja plasticidad con arena

3.6.6. Relación Humedad – Densidad (Proctor Modificado)

3.6.6.1. Procesamiento del Ensayo

Se determina el contenido de humedad para los distintos contenidos de humedad a los cuales se compacta la muestra de suelo como promedio entre estas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de humedad expresado en porcentaje (%)
- W_w = Peso del agua (gr)
- W_s = Peso del material (gr)
- W_1 = Peso de la tara + suelo húmedo (gr)

Se calcula la densidad húmeda y la densidad seca mediante la siguiente fórmula:

Densidad Húmeda:

$$\rho_m = \frac{M_t - M_{md}}{V}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm^3)



- M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (gr)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (gr)
- V = Volumen del molde de compactación (gr)

Densidad Seca:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

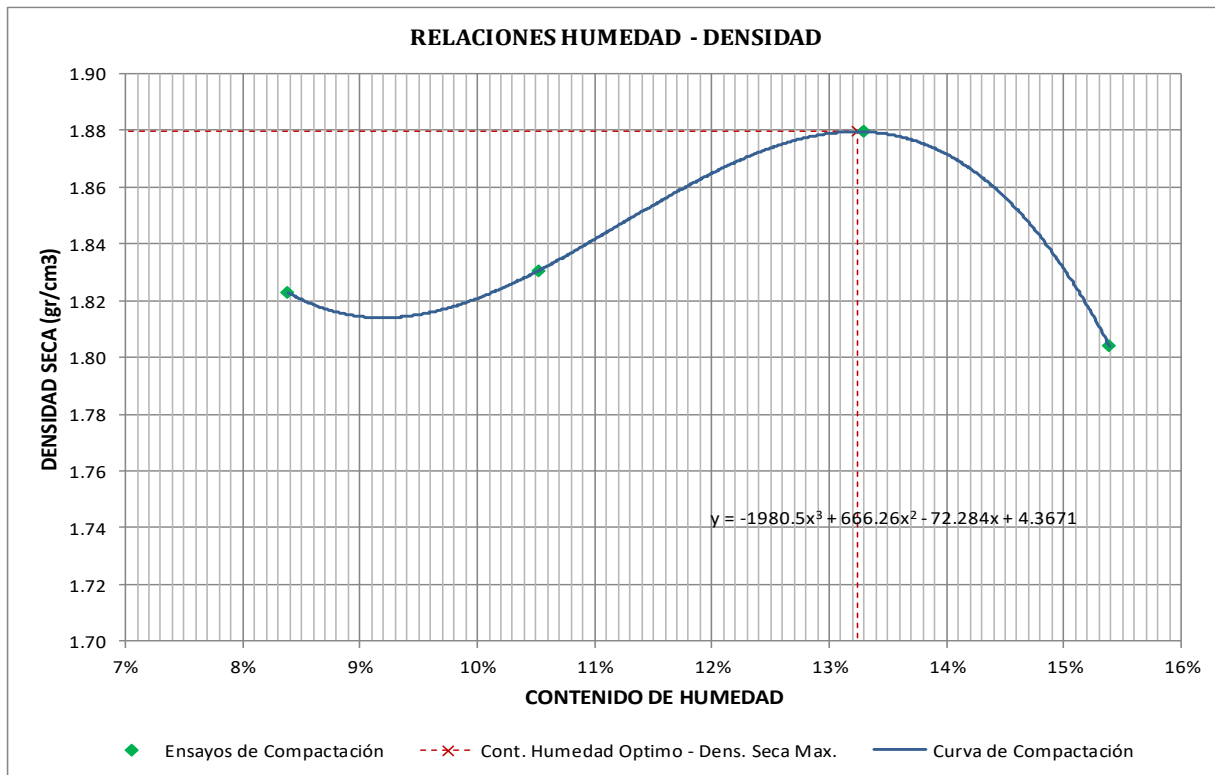
- ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (gr/cm^3)
- ρ_d = Densidad Seca del espécimen compactado (gr/cm^3)
- W = Contenido de Agua (%)
- V = Volumen del molde de compactación (gr)

3.6.6.2. Diagrama del Ensayo

Véase las tablas 56, 57, 58 y 59 (MTC E 115, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180)

Tabla 56 Proctor Modificado de Suelo Natural – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES				
Método = A				
Número de capas = 5				
Número de golpes por capa = 25				
Masa del pisón = 4.54 Kg				
Altura de caída del pisón = 45.72 cm				
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64
Volumen del Molde (cm3)	943.96	943.96	943.96	943.96
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,615.00	5,660.00	5,760.00	5,715.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1865.00	1910.00	2010.00	1965.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1720.73	1728.11	1774.20	1702.91
Densidad Seca (gr/cm3)	1.82	1.83	1.88	1.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	17.02	16.49	18.81	18.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	85.92	90.94	100.47	106.93
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	80.59	83.85	90.89	95.13
Peso del Agua (gr)	5.33	7.09	9.58	11.80
Peso de la Muestra Seca (gr)	63.57	67.36	72.08	76.67
Contenido de Humedad	8.38%	10.53%	13.29%	15.39%

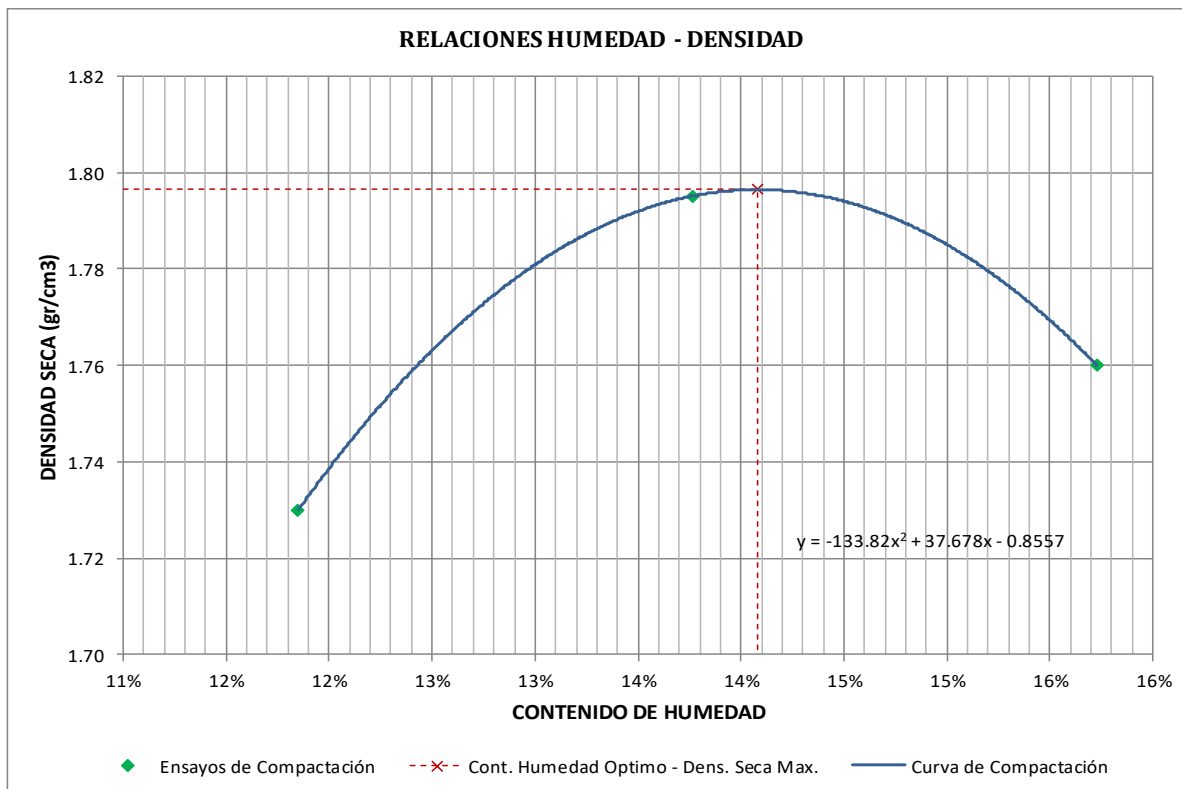


DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.88 gr/cm3
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 13.24%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57 Proctor Modificado de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Procesamiento de datos

Método = A			
Número de capas = 5			
Número de golpes por capa = 25			
Masa del pisón = 4.54 Kg			
Altura de caída del pisón = 45.72 cm			
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,555.00	5,655.00	5,650.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1805.00	1905.00	1900.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1613.78	1674.54	1641.77
Densidad Seca (gr/cm³)	1.73	1.80	1.76
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	15.93	15.73	10.48
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	83.61	63.26	84.50
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	76.44	57.51	74.44
Peso del Agua (gr)	7.17	5.75	10.06
Peso de la Muestra Seca (gr)	60.51	41.78	63.96
Contenido de Humedad	11.85%	13.76%	15.73%



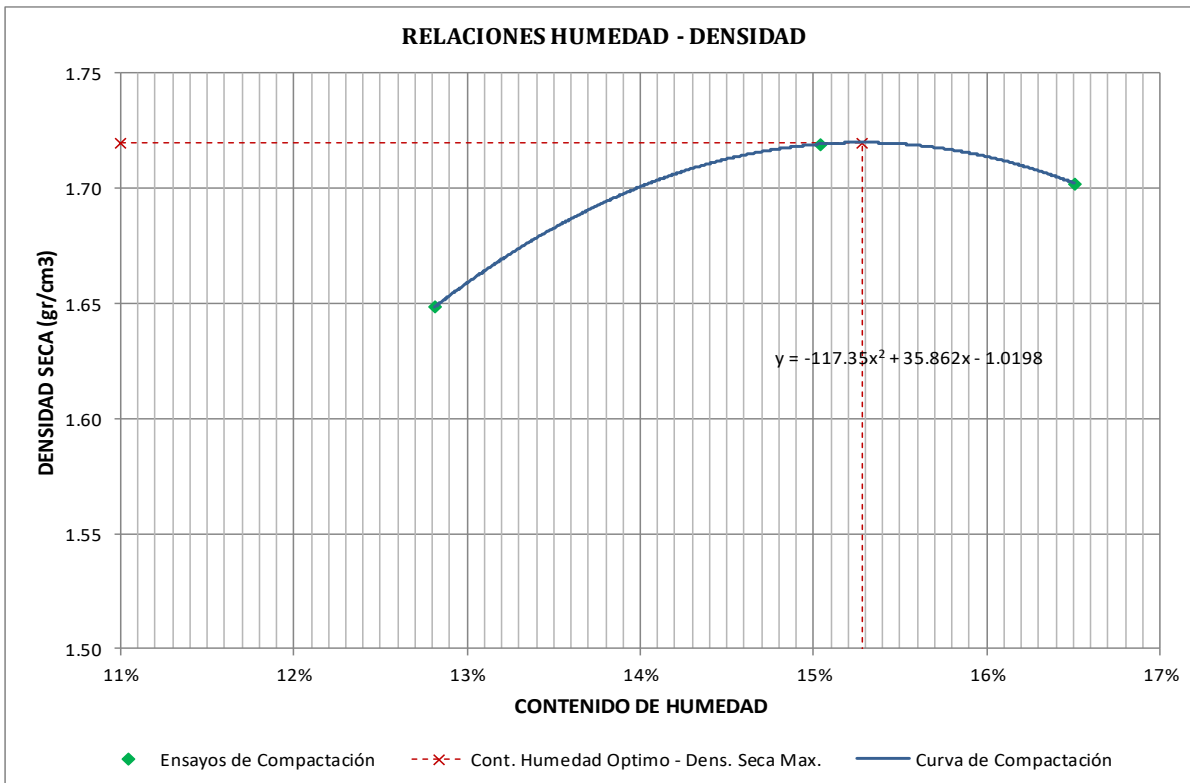
DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.80 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 14.08%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58 Proctor Modificado de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES	
Método = A	
Número de capas = 5	
Número de golpes por capa = 25	
Masa del pisón = 4.54 Kg	
Altura de caída del pisón = 45.72 cm	

DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,485.00	5,595.00	5,600.00
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1735.00	1845.00	1850.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	1537.91	1603.76	1587.89
Densidad Seca (gr/cm³)	1.65	1.72	1.70
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	16.34	18.48	18.70
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (g)	71.80	70.64	83.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	65.50	63.82	73.95
Peso del Agua (gr)	6.30	6.82	9.12
Peso de la Muestra Seca (gr)	49.16	45.34	55.25
Contenido de Humedad	12.82%	15.04%	16.51%

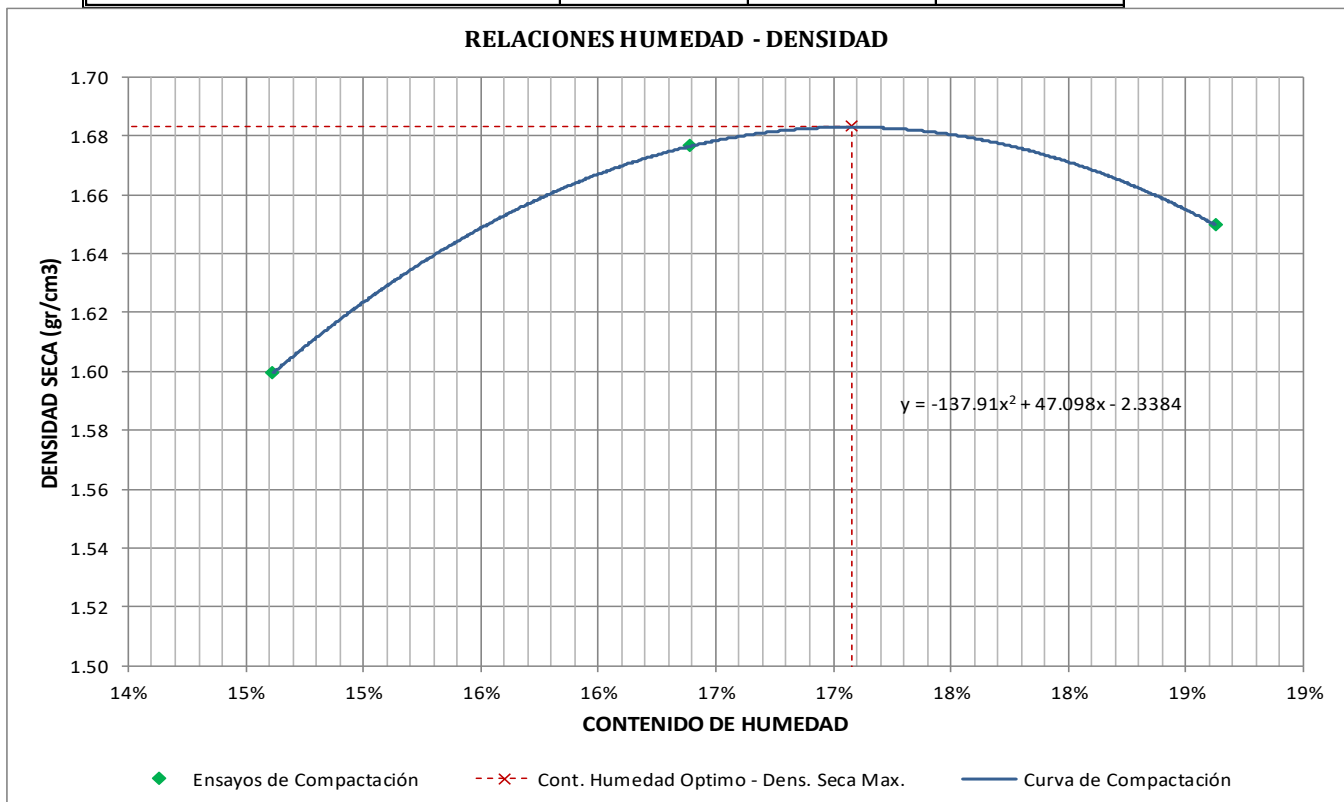


DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.72 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 15.28%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59 Proctor Modificado de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES			
Método = A			
Número de capas = 5			
Número de golpes por capa = 25			
Masa del pisón = 4.54 Kg			
Altura de caída del pisón = 45.72 cm			
DENSIDAD DE LA MUESTRA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Proctor Utilizado	P-6	P-6	P-6
Diámetro del Molde (cm)	10.11	10.11	10.11
Altura del molde (cm)	11.62	11.62	11.62
Volumen del Molde (cm ³)	932.82	932.82	932.82
Peso del Molde (gr)	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	5,460.00	5,570.00	5,575.50
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	1710.00	1820.00	1825.50
Peso de la Muestra Seca (gr)	1491.94	1563.73	1538.85
Densidad Seca (gr/cm³)	1.60	1.68	1.65
CONTENIDO DE HUMEDAD	Medio	Medio	Medio
Peso de Capsula (gr)	11.84	15.58	11.89
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.32	78.36	72.90
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	68.97	69.52	63.32
Peso del Agua (gr)	8.35	8.84	9.58
Peso de la Muestra Seca (gr)	57.13	53.94	51.43
Contenido de Humedad	14.62%	16.39%	18.63%



DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1.68 gr/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 17.08%

Fuente: Elaboración Propia



3.6.6.3. Análisis del Ensayo

Menos del 20% del peso del material fue retenido en la malla N°4, entonces se utilizó para el ensayo de Proctor Modificado el Método A, este ensayo se realizó en 5 capas teniendo en cuenta que se dio 25 golpes por cada capa.

El contenido de humedad óptimo del suelo natural fue de 13.24%, el cual aumenta progresivamente según se le añade el porcentaje de CCA y CAL.

La máxima densidad seca en los ensayos fue la del Suelo Natural con un valor de 1.88 gr/cm³ que esta disminuye progresivamente a medida que se aumenta el porcentaje de CCA y CAL.

La máxima densidad seca entre las tres muestras añadiendo ceniza de cascara de arroz y cal, fue 7% CCA + 5% CAL, tomando un valor 1.80 gr/cm³, teniendo en cuenta que este valor es menor a la densidad seca del suelo Natural.

3.6.7. Ensayo CBR “california bearing ratio” (laboratorio)

3.6.7.1. Procesamiento del Ensayo

Con datos que se obtiene de laboratorio se halla el peso húmedo para después hallar la densidad húmeda del suelo, de la siguiente forma:

Porcentaje de Humedad:

$$W (\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} \times 100$$

Donde:

- W_r : Masa del recipiente (gr)
- W_h : Masa de recipiente + suelo húmedo (gr)
- W_s : Masa de recipiente + suelo seco (gr)



Densidad Humedad:

$$p_{hum} = \frac{W_{hum}}{V}$$

Donde:

- p_{hum} : Densidad Húmeda
- W_{hum} : Peso de la muestra húmeda
- V : Volumen del molde

Densidad Seca

$$p_s = \frac{p_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

- P_s : Densidad Seca
- W : porcentaje de humedad

Valor de la relación de soporte (índice resistente de CBR):

El número de CBR es un porcentaje de la carga patrón y se halla mediante la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria del patrón}} \times 100$$

Tabla 60 Características de la muestra patrón

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)



Para calcular el CBR, se procede a dibujar la curva que relaciona las presiones que se encuentran en el eje de las ordenadas vs. las penetraciones que se encuentran en el eje de las abscisas, observando donde se presenta el punto de inflexión; caso contrario no se presente punto de inflexión se toma los valores de 2,54 mm (0,1”) y 5,08 mm (0,2”) de penetración. En caso de que la curva presente un punto de inflexión, la tangente en se punto cortara el eje de las abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones que corresponde a 2,54 mm y 5,08mm.

Una vez la curva corregida se toma los valores de esfuerzo – penetración para los valores de 2,54mm y 5,08mm y se calcula los valores de la relación de soporte que corresponden, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001 lb/ plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, para luego esos valores multiplicarlos por 100. Generalmente la relación de soporte reportada por el suelo es de 2,54mm (0,1”); caso contrario la relación a 5,08mm (0,2”) de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo y si aun así resulta similar el ensayo de comprobación, se adjunta la relación de soporte para 5,08mm (0,2”) de penetración.

Para hallar la expansión del suelo se usa la siguiente fórmula:

$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

- L1: Lectura inicial en mm
- L2: Lectura final en mm

El procesamiento de datos de este ensayo se realizó bajo la tutela del Manual de Ensayos de Materiales – 2016 (MTC E 132 – 2016, ASTM D1883).



3.6.7.2. Diagramas del Ensayo

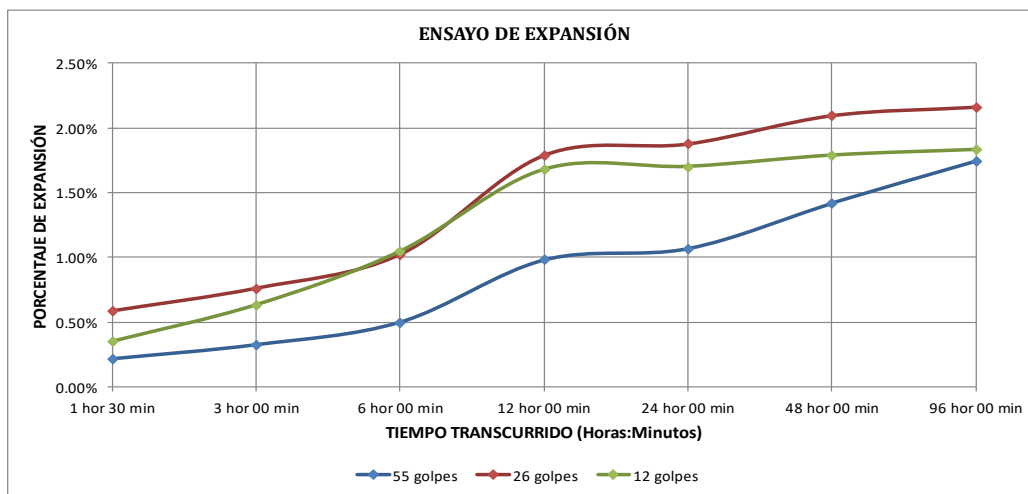
Véase las tablas 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 y 72 (MTC E 132, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193)

Tabla 61 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES						
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO		DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			DATOS DEL MOLDE	
Densidad Seca Máxima = 1.88 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 13.24% Contenido Humedad Natural = 13.08%		Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5			Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm	
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN						
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X		-1.11E-04 *X ²		+0.0E+00 *X ³		(KN)
Área del Pistón = 20.27 cm2		Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	16.50	15.60	10.48	19.13	15.04	16.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	96.96	93.74	91.32	99.56	102.97	80.01
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	87.30	83.35	81.92	88.01	92.68	70.40
Peso del Agua (gr)	9.66	10.39	9.40	11.55	10.29	9.61
Peso de la Muestra Seca (gr)	70.80	67.75	71.44	68.88	77.64	53.90
Contenido de Humedad	13.64%	15.34%	13.16%	16.77%	13.25%	17.83%
Porcentaje de Absorción	-	1.69%	-	3.61%	-	4.58%
Peso del Molde (gr)	7120		7202		7208	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11680	11820	11580	11795	11460	11700
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4560	4700	4378	4593	4252	4492
Peso de la Muestra Seca (gr)	4012.53		3868.93		3754.41	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	140	-	215	-	240
Porcentaje de Absorción	-	3.49%	-	5.56%	-	6.39%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.15	2.17	2.06	2.12	2.00	2.08
Densidad Seca (gr/cm3)	1.89	1.86	1.82	1.78	1.77	1.74

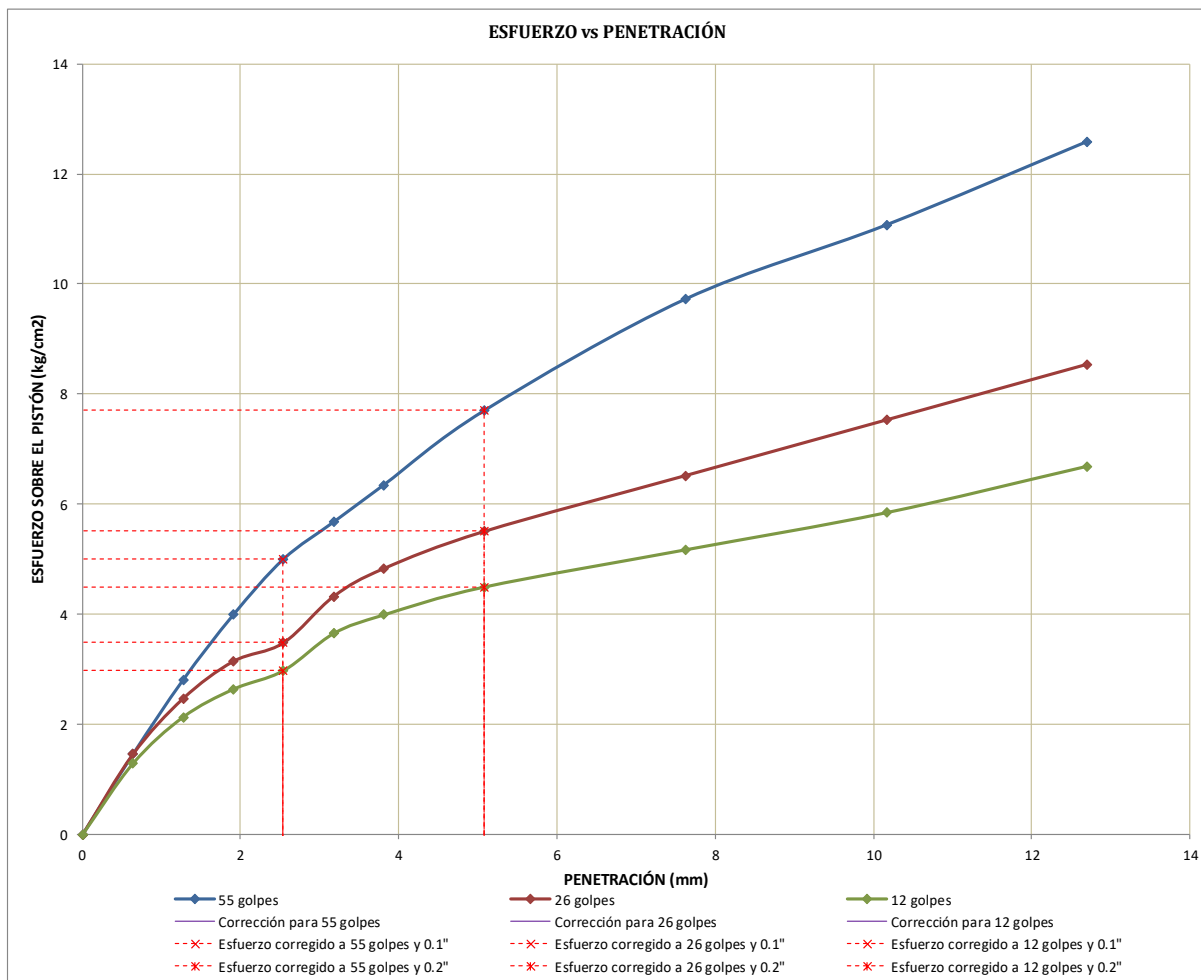
ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03					
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	10	0.01	0.254	0.22%	27	0.027	0.686	0.59%	16	0.016	0.406	0.35%
0.125	3 hor 00 min	15	0.015	0.381	0.33%	35	0.035	0.889	0.76%	29	0.029	0.737	0.63%
0.25	6 hor 00 min	23	0.023	0.584	0.50%	47	0.047	1.194	1.03%	48	0.048	1.219	1.05%
0.5	12 hor 00 min	45	0.045	1.143	0.98%	82	0.082	2.083	1.79%	77	0.077	1.956	1.68%
1	24 hor 00 min	49	0.049	1.245	1.07%	86	0.086	2.184	1.88%	78	0.078	1.981	1.70%
2	48 hor 00 min	65	0.065	1.651	1.42%	96	0.096	2.438	2.09%	82	0.082	2.083	1.79%
4	96 hor 00 min	80	0.08	2.032	1.75%	99	0.099	2.515	2.16%	84	0.084	2.134	1.83%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Ensayo de Penetración – Procesamiento de datos

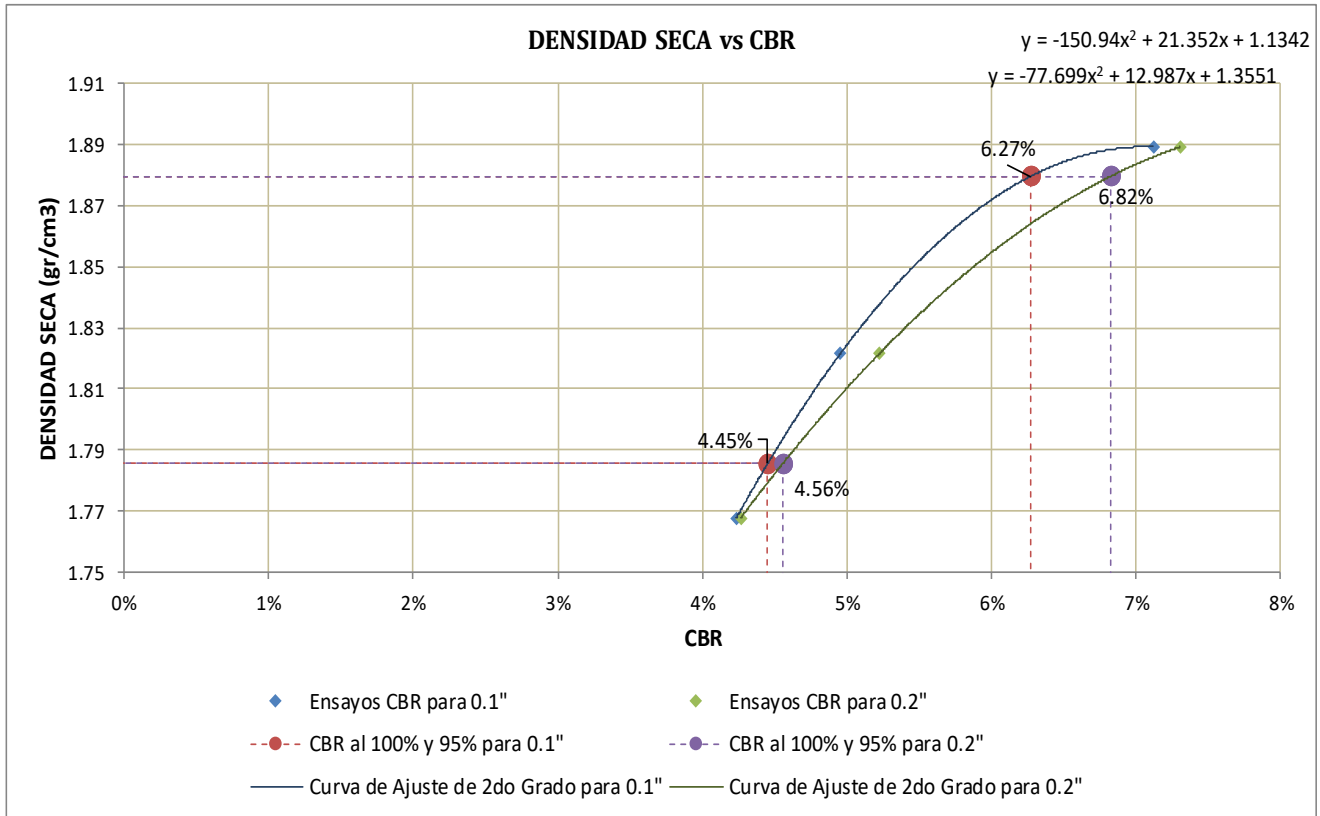
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial *0.001"	Penetración mm	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	5	29.51	1.46		5	29.51	1.46		4	26.09	1.29	
	50	1.270	13	56.92	2.81		11	50.07	2.47		9	43.22	2.13	
	75	1.905	20	80.89	3.99		15	63.77	3.15		12	53.50	2.64	
70.31	100	2.540	26	101.43	5.00	7.12%	17	70.62	3.48	4.96%	14	60.35	2.98	4.23%
	125	3.175	30	115.12	5.68		22	87.74	4.33		18	74.05	3.65	
	150	3.810	34	128.80	6.35		25	98.01	4.84		20	80.89	3.99	
105.46	200	5.080	42	156.16	7.70	7.31%	29	111.70	5.51	5.23%	23	91.16	4.50	4.26%
	300	7.620	54	197.17	9.73		35	132.22	6.52		27	104.85	5.17	
	400	10.160	62	224.49	11.08		41	152.74	7.54		31	118.54	5.85	
	500	12.700	71	255.21	12.59		47	173.25	8.55		36	135.64	6.69	



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.540	5.00	7.12%	2.540	3.48	4.96%	2.540	2.98	4.23%
105.46	5.080	7.70	7.31%	5.080	5.51	5.23%	5.080	4.50	4.26%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63 Ensayo de CBR de Suelo Natural – Densidad Seca vs CBR – Procesamiento de datos



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	7.12%	7.31%	1.89 gr/cm3
26	4.96%	5.23%	1.82 gr/cm3
12	4.23%	4.26%	1.77 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.88
95% de la DSM (gr/cm3)	1.79

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	6.27%	6.82%
CBR al 95% de la DSM	4.45%	4.56%

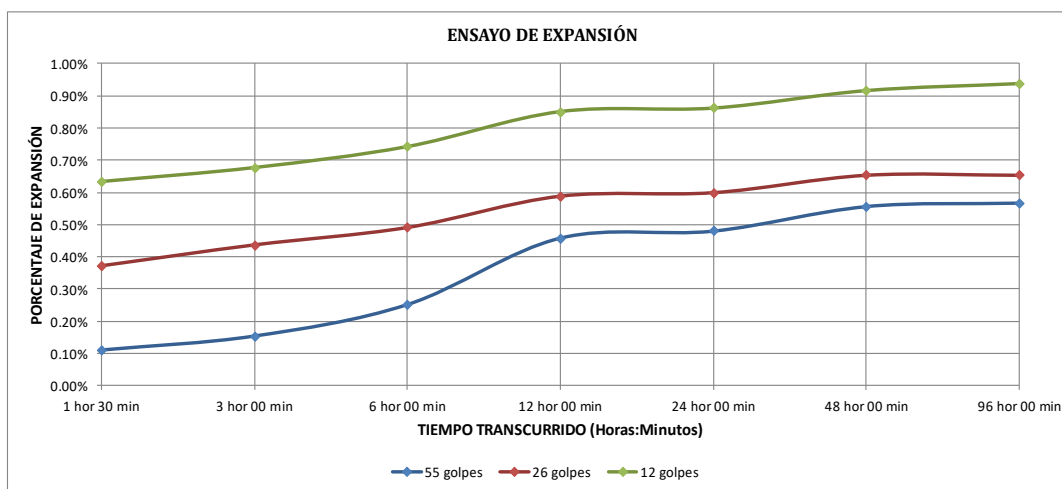
Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 64 Ensayo CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES						
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO		DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			DATOS DEL MOLDE	
Densidad Seca Máxima = 1.80 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 14.08% Contenido Humedad Natural = 13.08%		Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5			Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm	
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN						
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01		+3.4E+00 *X	-1.11E-04 *X ²	+0.0E+00 *X ³	(KN)	
Área del Pistón = 20.27 cm2		Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3				

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	19.08	11.89	16.50	16.21	19.18	15.92
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	84.43	74.10	82.39	93.81	84.89	87.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	75.79	64.98	73.34	81.96	76.20	75.82
Peso del Agua (gr)	8.64	9.12	9.05	11.85	8.69	12.03
Peso de la Muestra Seca (gr)	56.71	53.09	56.84	65.75	57.02	59.90
Contenido de Humedad	15.24%	17.18%	15.92%	18.02%	15.24%	20.08%
Porcentaje de Absorción	-	1.94%	-	2.10%	-	4.84%
Peso del Molde (gr)	7210		6905		7260	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11580	11695	11030	11220	11150	11717
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4370	4485	4125	4315	3890	4457
Peso de la Muestra Seca (gr)	3792.24		3558.43		3375.56	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	115	-	190	-	567
Porcentaje de Absorción	-	3.03%	-	5.34%	-	16.80%
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.06	2.10	1.94	2.02	1.83	2.08
Densidad Seca (gr/cm3)	1.79	1.78	1.68	1.66	1.59	1.57

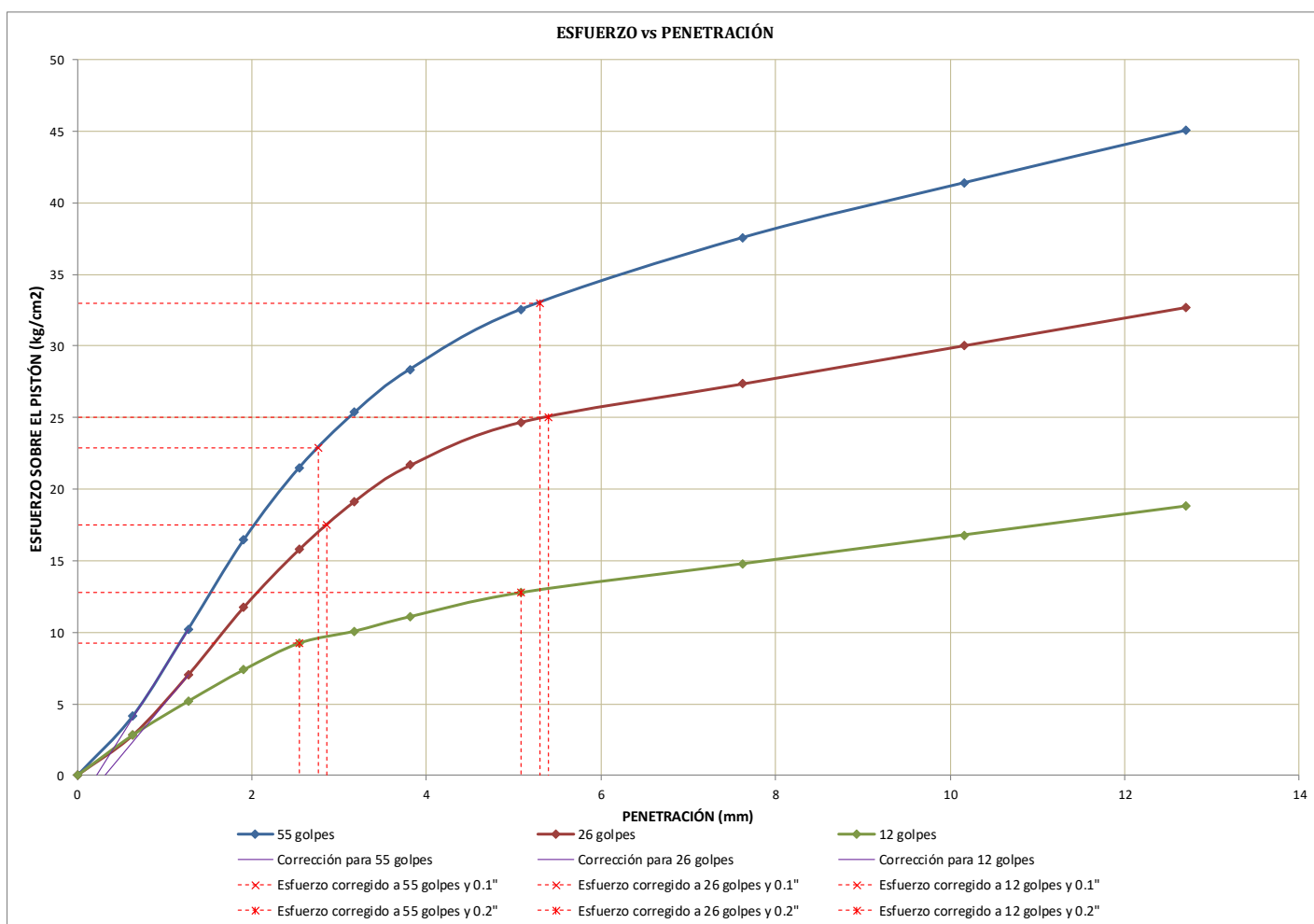
ENSAYO DE EXPANSIÓN																
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03						
Tiempo Transcurrido		Dial		Deform		% de Expans.	Dial		Deform		% de Expans.	Dial		Deform		% de Expans.
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	*0.001"		pulg	mm	*0.001"	pulg		mm	*0.001"	pulg	mm	
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%			
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	0.11%	17	0.017	0.432	0.37%	29	0.029	0.737	0.63%			
0.125	3 hor 00 min	7	0.007	0.178	0.15%	20	0.02	0.508	0.44%	31	0.031	0.787	0.68%			
0.25	6 hor 00 min	11.5	0.0115	0.292	0.25%	22.5	0.0225	0.572	0.49%	34	0.034	0.864	0.74%			
0.5	12 hor 00 min	21	0.021	0.533	0.46%	27	0.027	0.686	0.59%	39	0.039	0.991	0.85%			
1	24 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	27.5	0.0275	0.699	0.60%	39.5	0.0395	1.003	0.86%			
2	48 hor 00 min	25.5	0.0255	0.648	0.56%	30	0.03	0.762	0.65%	42	0.042	1.067	0.92%			
4	96 hor 00 min	26	0.026	0.660	0.57%	30	0.03	0.762	0.65%	43	0.043	1.092	0.94%			



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Ensayo de Penetración – Procesamiento de datos

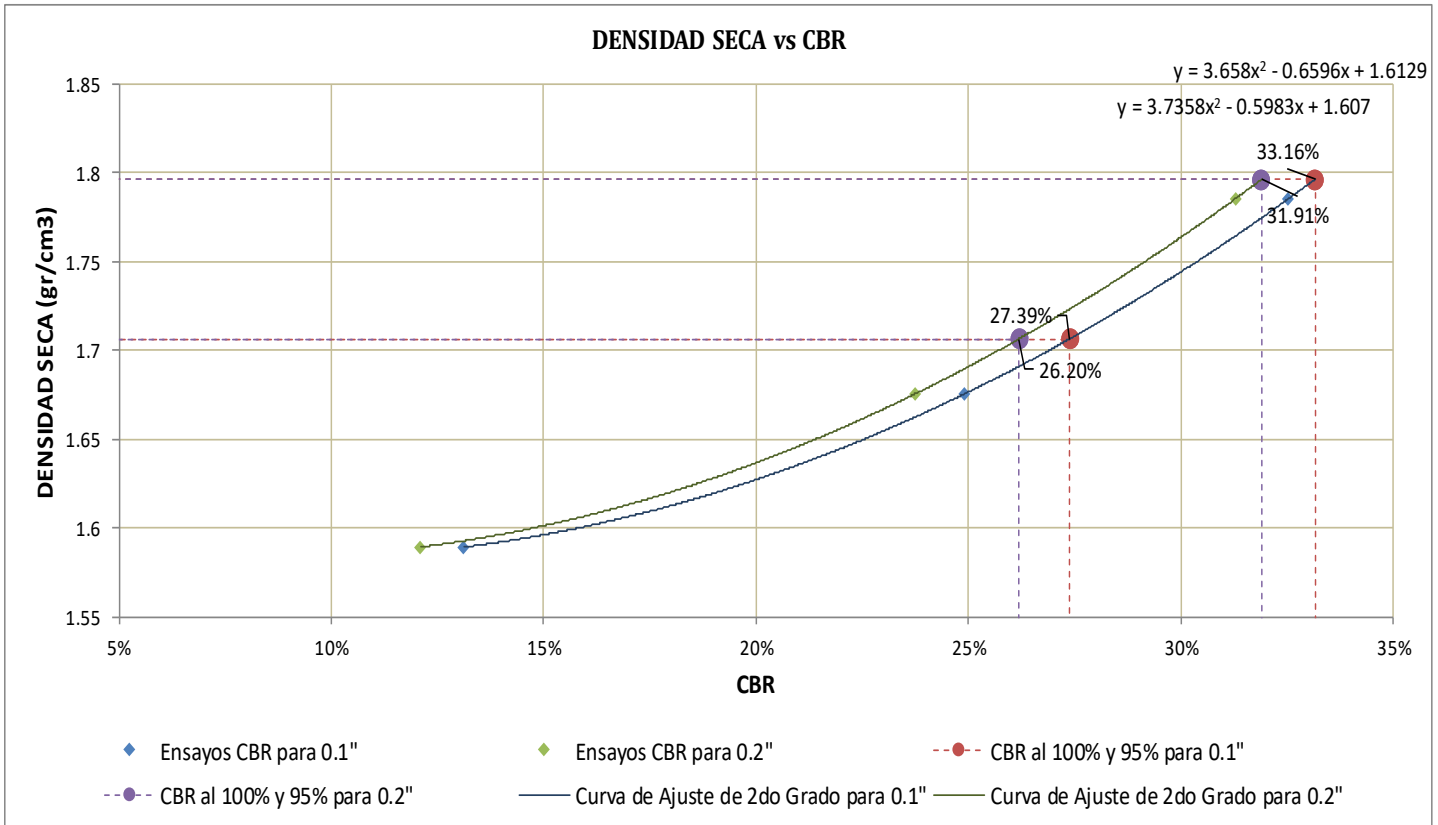
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración mm	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %	Dial	Fuerza kg	Esfuer. kg/cm2	CBR %
	*0.001"													
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	21	84.32	4.16		13	56.92	2.81		13	56.92	2.81	
	50	1.270	57	207.41	10.23		38	142.48	7.03		27	104.85	5.17	
	75	1.905	94	333.63	16.46		66	238.14	11.75		40	149.32	7.37	
70.31	100	2.540	124	435.74	21.50	30.58%	90	320.00	15.79	22.46%	51	186.92	9.22	13.12%
	125	3.175	147	513.89	25.35		110	388.11	19.15		56	204.00	10.06	
	150	3.810	165	574.98	28.37		125	439.14	21.67		62	224.49	11.08	
105.46	200	5.080	190	659.69	32.55	30.86%	143	500.31	24.68	23.41%	72	258.62	12.76	12.10%
	300	7.620	220	761.16	37.55		159	554.62	27.36		84	299.55	14.78	
	400	10.160	243	838.83	41.39		175	608.88	30.04		96	340.44	16.80	
	500	12.700	265	913.00	45.05		191	663.08	32.71		108	381.31	18.81	



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg	Penetr. Correg	Esfuer. Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	2.766	22.87	32.53%	2.864	17.50	24.90%	2.540	9.22	13.12%
105.46	5.306	32.99	31.29%	5.404	25.03	23.73%	5.080	12.76	12.10%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 66 Ensayo de CBR de Suelo 88% CCA 7% CAL 5% – Densidad vs CBR – Procesamiento de datos



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	32.53%	31.29%	1.79 gr/cm3
26	24.90%	23.73%	1.68 gr/cm3
12	13.12%	12.10%	1.59 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.80
95% de la DSM (gr/cm3)	1.71

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	33.16%	31.91%
CBR al 95% de la DSM	27.39%	26.20%

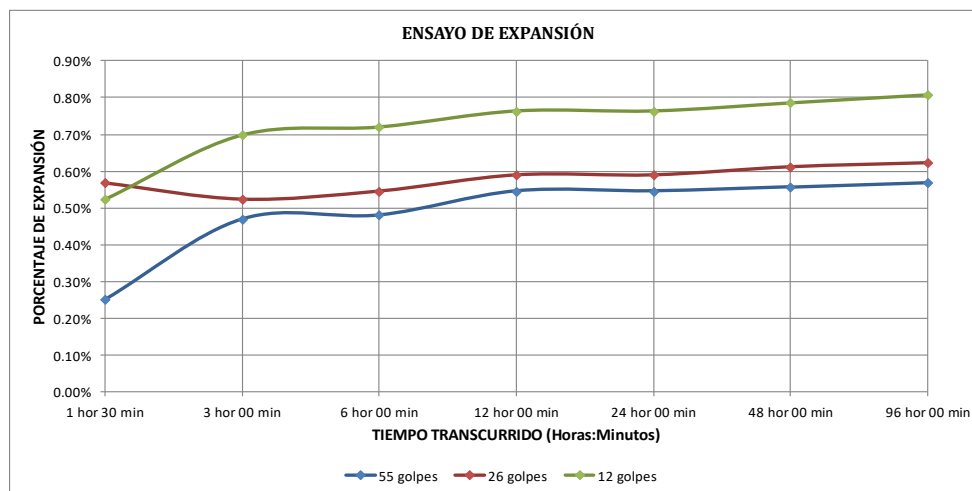
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES		
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	DATOS DEL MOLDE
Densidad Seca Máxima = 1.72 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 15.28% Contenido Humedad Natural = 13.08%	Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5	Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN		
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X Área del Pistón = 20.27 cm2	-1.11E-04 *X ²	+0.0E+00 *X ³ (KN)
		Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	16.50	18.71	11.67	15.72	18.41	18.46
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.49	93.79	66.31	87.80	82.13	85.94
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.46	83.61	59.25	75.98	73.63	73.82
Peso del Agua (gr)	8.03	10.18	7.06	11.82	8.50	12.12
Peso de la Muestra Seca (gr)	52.96	64.90	47.58	60.26	55.22	55.36
Contenido de Humedad	15.16%	15.69%	14.84%	19.62%	15.39%	21.89%
Porcentaje de Absorción	-	0.52%	-	4.78%	-	6.50%
Peso del Molde (gr)	7115		7375		7445	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11250	11430	11265	11530	11070	11420
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4135	4315	3890	4155	3625	3975
Peso de la Muestra Seca (gr)	3590.58		3387.38		3141.44	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	180	-	265	-	350
Porcentaje de Absorción	-	5.01%	-	7.82%	-	11.14%
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.95	2.02	1.83	1.94	1.71	1.86
Densidad Seca (gr/cm3)	1.69	1.68	1.59	1.59	1.48	1.47

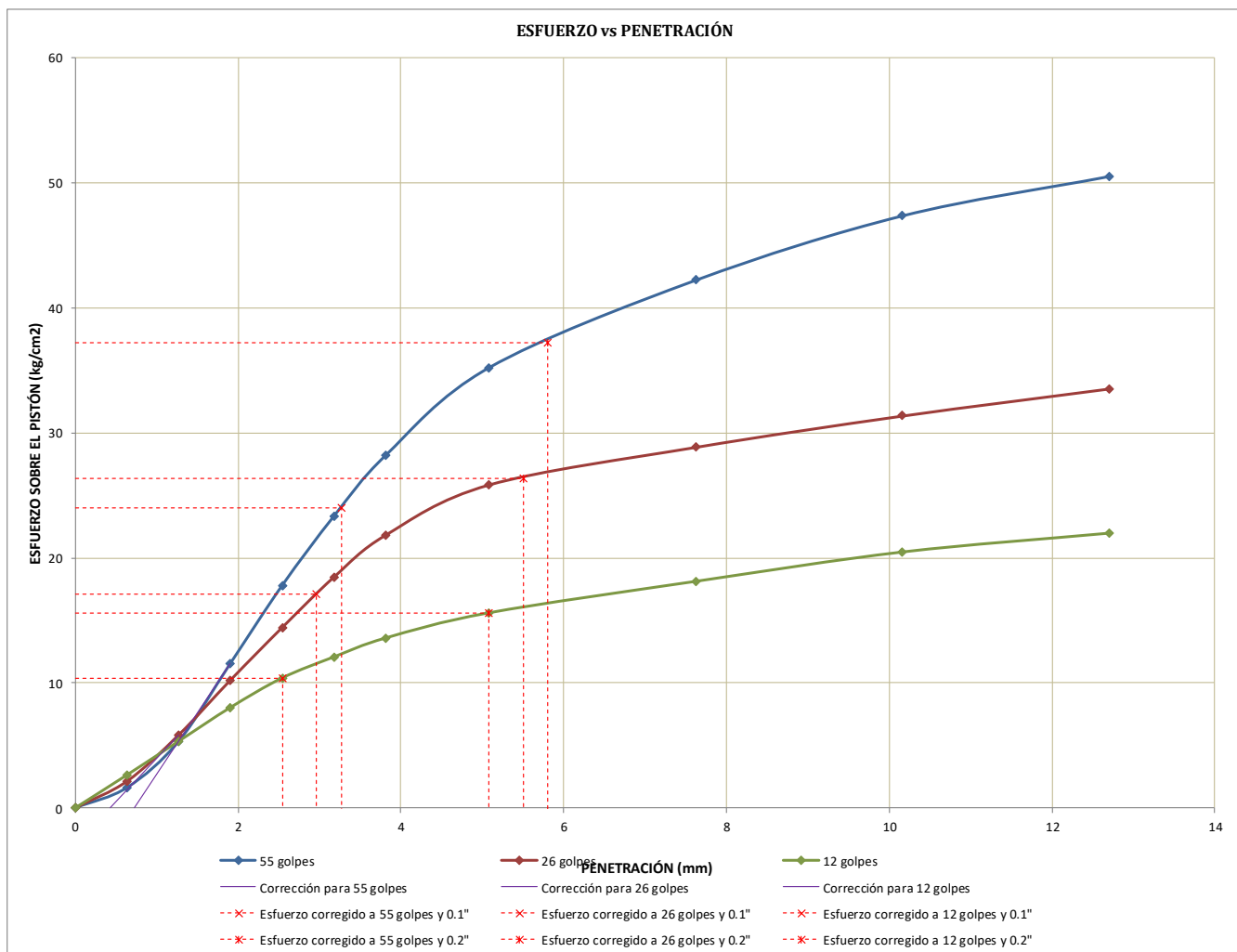
ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	11.5	0.0115	0.292	0.25%	26	0.026	0.660	0.57%	24	0.024	0.610	0.52%
0.125	3 hor 00 min	21.5	0.0215	0.546	0.47%	24	0.024	0.610	0.52%	32	0.032	0.813	0.70%
0.25	6 hor 00 min	22	0.022	0.559	0.48%	25	0.025	0.635	0.55%	33	0.033	0.838	0.72%
0.5	12 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	27	0.027	0.686	0.59%	35	0.035	0.889	0.76%
1	24 hor 00 min	25	0.025	0.635	0.55%	27	0.027	0.686	0.59%	35	0.035	0.889	0.76%
2	48 hor 00 min	25.5	0.0255	0.648	0.56%	28	0.028	0.711	0.61%	36	0.036	0.914	0.79%
4	96 hor 00 min	26	0.026	0.660	0.57%	28.5	0.0285	0.724	0.62%	37	0.037	0.940	0.81%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% – Ensayo de Penetración – Procesamiento de datos

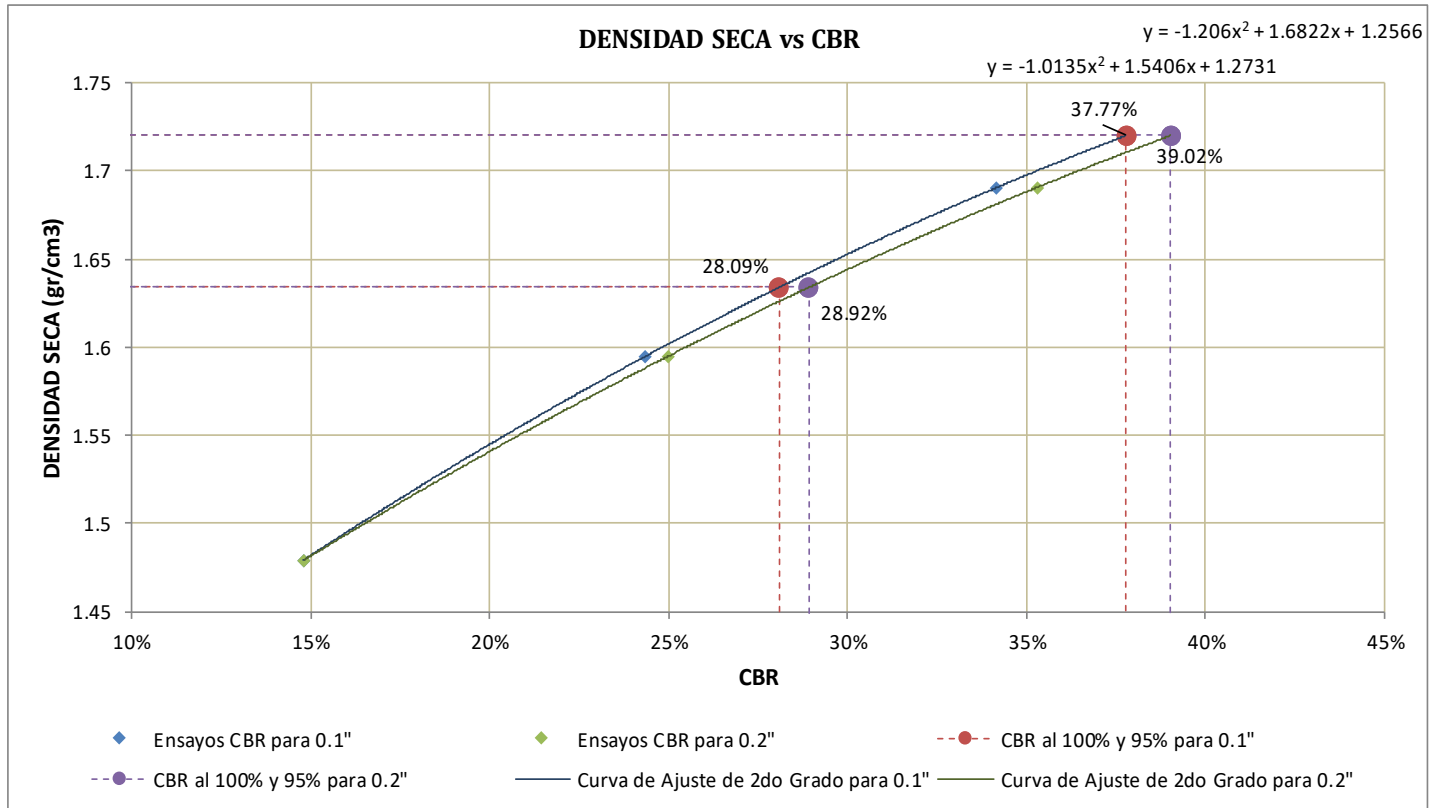
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm2			kg	kg/cm2			kg	kg/cm2	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	6	32.94	1.63		9	43.22	2.13		12	53.50	2.64	
	50	1.270	28	108.27	5.34		31	118.54	5.85		28	108.27	5.34	
	75	1.905	65	234.73	11.58		57	207.41	10.23		44	162.99	8.04	
70.31	100	2.540	102	360.88	17.81	25.32%	82	292.73	14.44	20.54%	58	210.83	10.40	14.79%
	125	3.175	135	473.13	23.34		106	374.50	18.48		68	244.97	12.09	
	150	3.810	164	571.58	28.20		126	442.54	21.83		77	275.67	13.60	
105.46	200	5.080	206	713.83	35.22	33.40%	150	524.08	25.86	24.52%	89	316.59	15.62	14.81%
	300	7.620	248	855.69	42.22		168	585.15	28.87		104	367.69	18.14	
	400	10.160	279	960.15	47.37		183	635.98	31.38		118	415.34	20.49	
	500	12.700	298	1024.06	50.53		196	680.00	33.55		127	445.94	22.00	



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm2	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%	mm	kg/cm2	%
70.31	3.263	24.02	34.16%	2.963	17.13	24.37%	2.540	10.40	14.79%
105.46	5.803	37.21	35.29%	5.503	26.36	24.99%	5.080	15.62	14.81%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69 Ensayo de CBR de Suelo 83% CCA 12% CAL 5% –Densidad Seca vs CBR– Procesamiento de datos



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	34.16%	35.29%	1.69 gr/cm3
26	24.37%	24.99%	1.59 gr/cm3
12	14.79%	14.81%	1.48 gr/cm3

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.72
95% de la DSM (gr/cm3)	1.63

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	37.77%	39.02%
CBR al 95% de la DSM	28.09%	28.92%

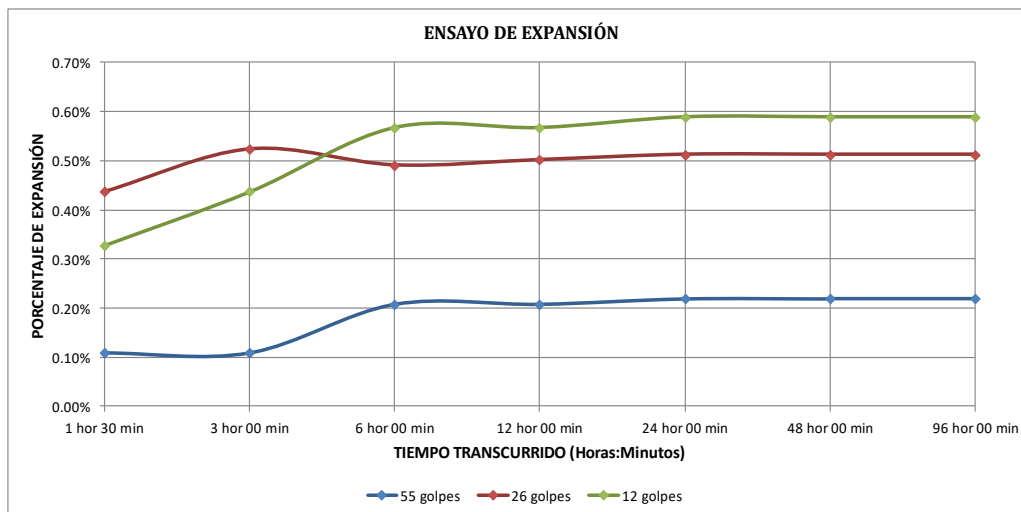
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Ensayo de Compactación y Expansión – Procesamiento de datos

DATOS PRELIMINARES						
DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO		DATOS DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			DATOS DEL MOLDE	
Densidad Seca Máxima = 1.68 cm3 Contenido Humedad Óptimo = 17.08% Contenido Humedad Natural = 13.08%		Peso del Martillo = 4.54 Kg Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm Número de Capas = 5			Diámetro del Molde = 15.24 cm Altura del Molde = 17.78 cm Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm Altura de la Muestra = 11.64 cm	
DATOS DEL EQUIPO DE PENETRACIÓN						
Constante del Anillo de Carga = +1.24E+01 +3.4E+00 *X -1.11E-04 *X ² +0.0E+00 *X ³ (KN)					Área = 182.41 cm2 Volumen = 2123.92 cm3	
Área del Pistón = 20.27 cm2						

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Muestra	MUESTRA 01		MUESTRA 02		MUESTRA 03	
Número de Golpes por Capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada	Cont. Hum. Óptimo	Saturada
Ubicación del Contenido de Humedad	Medio	Arriba	Medio	Arriba	Medio	Arriba
Peso de Capsula (gr)	15.97	19.11	18.23	10.48	14.95	16.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	58.26	104.68	64.94	87.16	65.18	99.46
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	52.08	90.41	58.04	73.95	57.85	81.98
Peso del Agua (gr)	6.18	14.27	6.90	13.21	7.33	17.48
Peso de la Muestra Seca (gr)	36.11	71.30	39.81	63.47	42.90	65.63
Contenido de Humedad	17.11%	20.01%	17.33%	20.81%	17.09%	26.63%
Porcentaje de Absorción	-	2.90%	-	3.48%	-	9.55%
Peso del Molde (gr)	7250		7105		6780	
Peso del Molde + Muestra Húmeda (gr)	11400	11560	10965	11255	10345	10745
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4150	4310	3860	4150	3565	3965
Peso de la Muestra Seca (gr)	3543.54		3289.80		3044.76	
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	160	-	290	-	400
Porcentaje de Absorción	-	4.52%	-	8.82%	-	13.14%
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.95	2.02	1.82	1.94	1.68	1.86
Densidad Seca (gr/cm3)	1.67	1.66	1.55	1.54	1.43	1.43

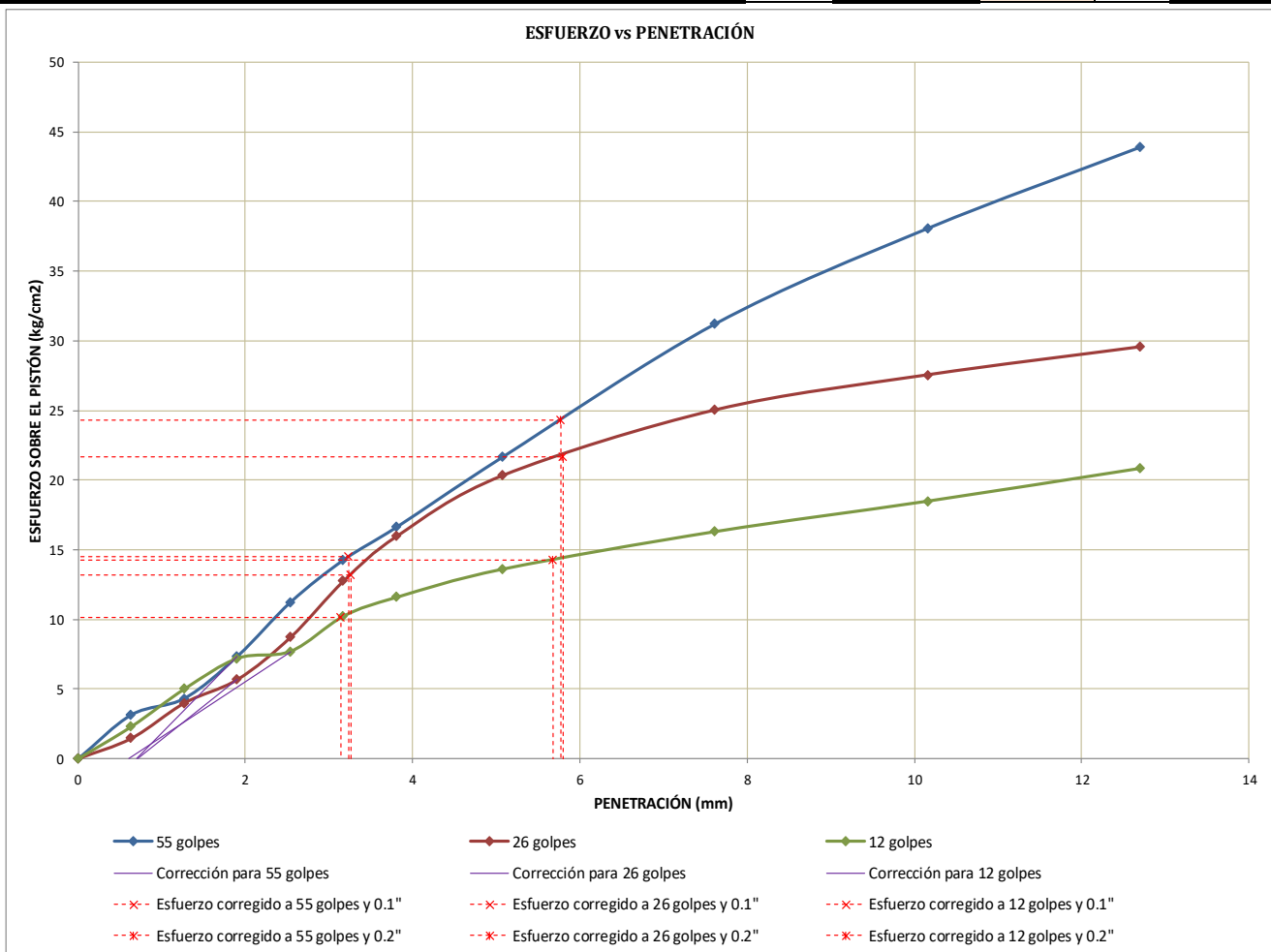
ENSAYO DE EXPANSIÓN													
Muestra		MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Tiempo Transcurrido		Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de	Dial	Deform		% de
Días	HH:MM	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.	*0.001"	pulg	mm	Expans.
0	0 hor 00 min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1 hor 30 min	5	0.005	0.127	0.11%	20	0.02	0.508	0.44%	15	0.015	0.381	0.33%
0.125	3 hor 00 min	5	0.005	0.127	0.11%	24	0.024	0.610	0.52%	20	0.02	0.508	0.44%
0.25	6 hor 00 min	9.5	0.0095	0.241	0.21%	22.5	0.0225	0.572	0.49%	26	0.026	0.660	0.57%
0.5	12 hor 00 min	9.5	0.0095	0.241	0.21%	23	0.023	0.584	0.50%	26	0.026	0.660	0.57%
1	24 hor 00 min	10	0.01	0.254	0.22%	23.5	0.0235	0.597	0.51%	27	0.027	0.686	0.59%
2	48 hor 00 min	10	0.01	0.254	0.22%	23.5	0.0235	0.597	0.51%	27	0.027	0.686	0.59%
4	96 hor 00 min	10	0.01	0.254	0.22%	23.5	0.0235	0.597	0.51%	27	0.027	0.686	0.59%



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 71 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Ensayo de Penetración – Procesamiento de datos

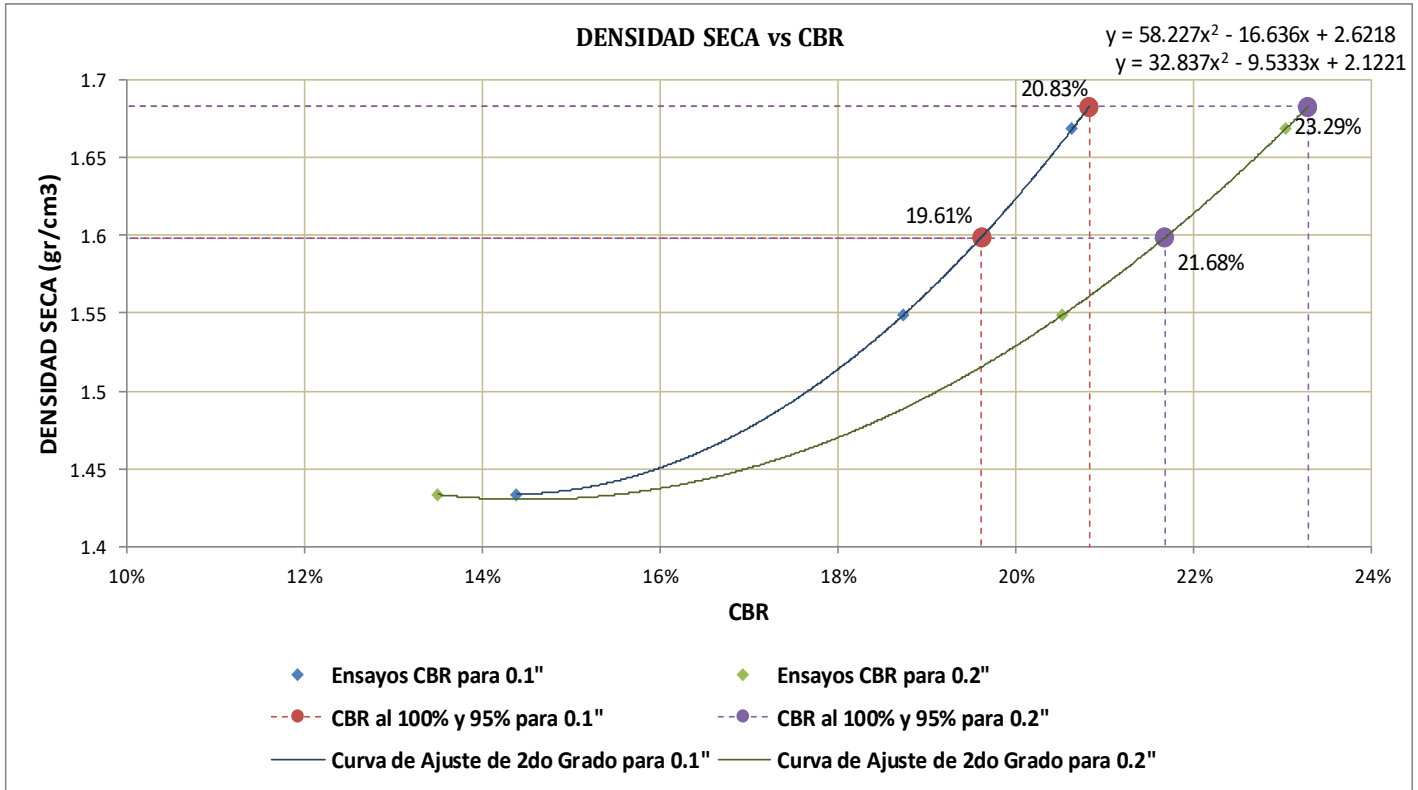
ENSAYO DE PENETRACIÓN														
Muestra			MUESTRA 01				MUESTRA 02				MUESTRA 03			
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial	Penetración	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR	Dial	Fuerza	Esfuer.	CBR
	*0.001"	mm		kg	kg/cm ²			kg	kg/cm ²			kg	kg/cm ²	
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	15	63.77	3.15		5	29.51	1.46		10	46.65	2.30	
	50	1.270	22	87.74	4.33		20	80.89	3.99		26	101.43	5.00	
	75	1.905	40	149.32	7.37		30	115.12	5.68		39	145.90	7.20	
70.31	100	2.540	63	227.90	11.24	15.99%	48	176.67	8.72	12.40%	42	156.16	7.70	10.96%
	125	3.175	81	289.32	14.27		72	258.62	12.76		57	207.41	10.23	
	150	3.810	95	337.04	16.63		91	323.41	15.96		65	234.73	11.58	
105.46	200	5.080	125	439.14	21.67	20.54%	117	411.93	20.32	19.27%	77	275.67	13.60	12.90%
	300	7.620	182	632.60	31.21		145	507.10	25.02		93	330.22	16.29	
	400	10.160	223	771.30	38.05		160	558.02	27.53		106	374.50	18.48	
	500	12.700	258	889.41	43.88		172	598.71	29.54		120	422.14	20.83	



CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg	Penetr Correg	Esfuer Correg	CBR Correg
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%	mm	kg/cm ²	%
70.31	3.238	14.51	20.64%	3.257	13.17	18.74%	3.145	10.12	14.39%
105.46	5.778	24.29	23.03%	5.797	21.65	20.53%	5.685	14.24	13.51%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72 Ensayo de CBR de Suelo 80% CCA 15% CAL 5% – Densidad vs CBR – Procesamiento de datos



Número de Golpes	CBR		Densidad Seca
	0.1"	0.2"	
55	20.64%	23.03%	1.67 gr/cm ³
26	18.74%	20.53%	1.55 gr/cm ³
12	14.39%	13.51%	1.43 gr/cm ³

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.68
95% de la DSM (gr/cm ³)	1.60

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	20.83%	23.29%
CBR al 95% de la DSM	19.61%	21.68%

Fuente: Elaboración Propia

3.6.7.3. Análisis del Ensayo

En la siguiente Tabla 73 se presenta el resumen del Ensayo de CBR- Suelo Natural añadido con CCA y CAL.

Tabla 73 Ensayo de CBR – Resumen de CBR's, DSM y CHO añadiendo CCA + CAL

Suelo	Porcentaje de Adición de CCA Y CAL		DATOS		
	CCA	CAL	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Húmedad Óptima (%)	CBR al 95%
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%	4.45%
88%	7%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%	27.39%
83%	12%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%	28.09%
80%	15%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%	19.61%

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el incremento de CBR es notable al añadir los distintos porcentajes de CCA y CAL respecto al Suelo Natural.

El mayor CBR será al añadir 12% de CCA + 5% de CAL con el Suelo Natural, Según el MTC se clasifica como Sub-rasante Muy Buena.

Además, se observa que al añadir 7% de CCA + 5% de CAL y 12% de CCA + 5% de CAL se obtiene los mayores CBR's; caso contrario al añadir 15% de CCA + 5% de CAL el CBR disminuye frente a los mencionados.

Capítulo IV

4. Resultados

4.1. Resultados de los ensayos

4.1.1. Ensayo de contenido de humedad

Tabla 74 Ensayo de Contenido de humedad - Resultados

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01
Peso de Capsula (gr)	35.90
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	384.32
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	344.01
Peso del Agua (gr)	40.31
Peso de la Muestra Seca (gr)	308.11
Contenido de Humedad	13.08%

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados mostrados en la Tabla 74 indican un nivel medio de contenido de humedad, presente en la muestra de suelo arcilloso, con un resultado promedio de 13.08% de contenido de humedad de la muestra extraída.

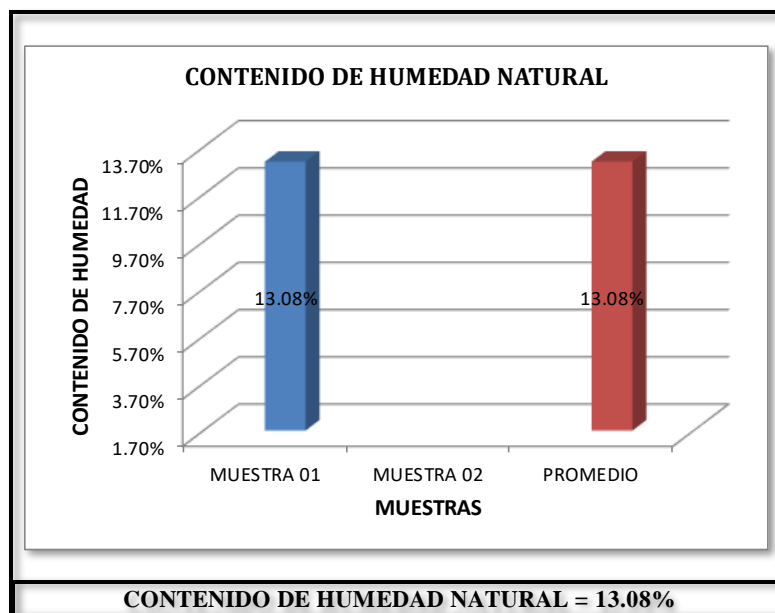


Figura 50 Ensayo Contenido de humedad - Resultados

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Análisis Granulometría de suelos por tamizado

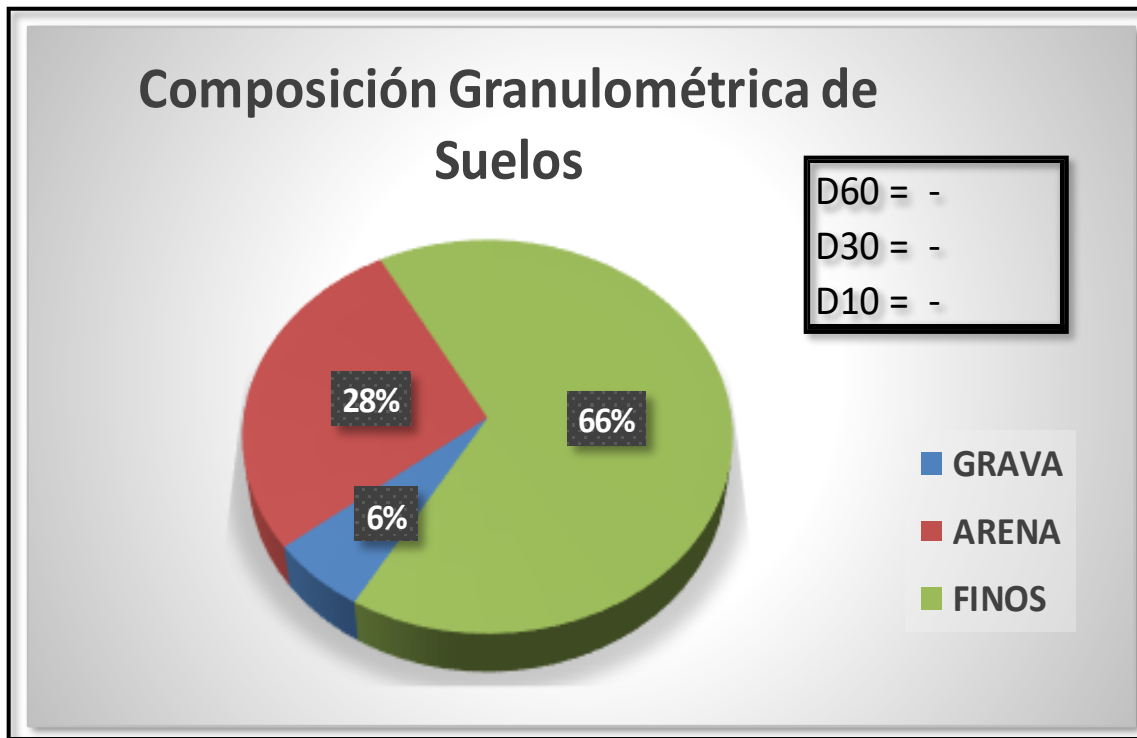
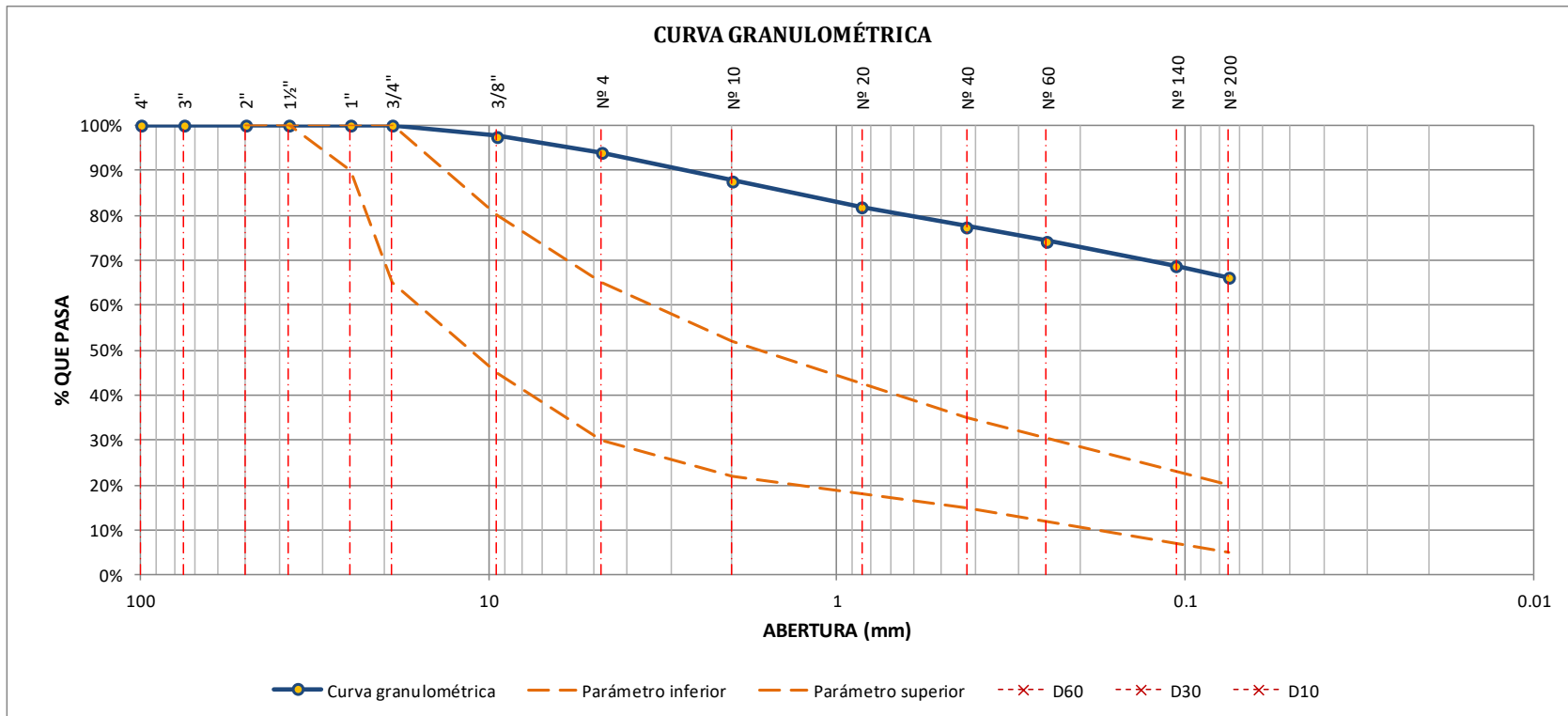


Figura 51 Resultado de la Composición Granulométrica del Suelo
Fuente: Elaboración Propia

El suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, en su composición presenta muy poco porcentaje de grava, caso contrario presenta mayor porcentaje de finos y arena como se puede observar en la figura 51.



Tamaño Máximo Absoluto = 3/4"

Tamaño Máximo Nominal = Nº 4

D60 = -
D30 = -
D10 = -

Cu = -
Cc = -

Figura 52 Curva Granulométrica

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, no presenta D60, D10 y D30 debido a que el suelo es muy fino (está compuesto por gran cantidad de finos) y no llega a intersecar, por lo tanto, no presenta coeficiente de uniformidad ni coeficiente de curvatura.

4.1.3. Determinación del Limite Líquido (L.L), Limite Plástico (L.P) e Índice de Plasticidad (I.P) de los Suelos

Tabla 75 Cuadro Comparativo de la variación de L.L, L.P e I.P según adición de CCA y CAL

Suelo	Porcentaje de Adición de CCA Y CAL		DATOS		
	CCA	CAL	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
100%	0%	0%	30.93%	16.87%	14.06%
88%	7%	5%	29.82%	16.24%	13.58%
83%	12%	5%	32.55%	16.57%	15.98%
80%	15%	5%	32.87%	20.34%	12.03%

Fuente: *Elaboración Propia*

El L.L incrementa al añadir 12% de CCA + 5% de CAL y 15% de CCA + 5% de CAL, L.P incrementa al añadir y 15% de CCA + 5% de CAL; el I.P incrementa al añadir 12% de CCA + 5% de CAL.

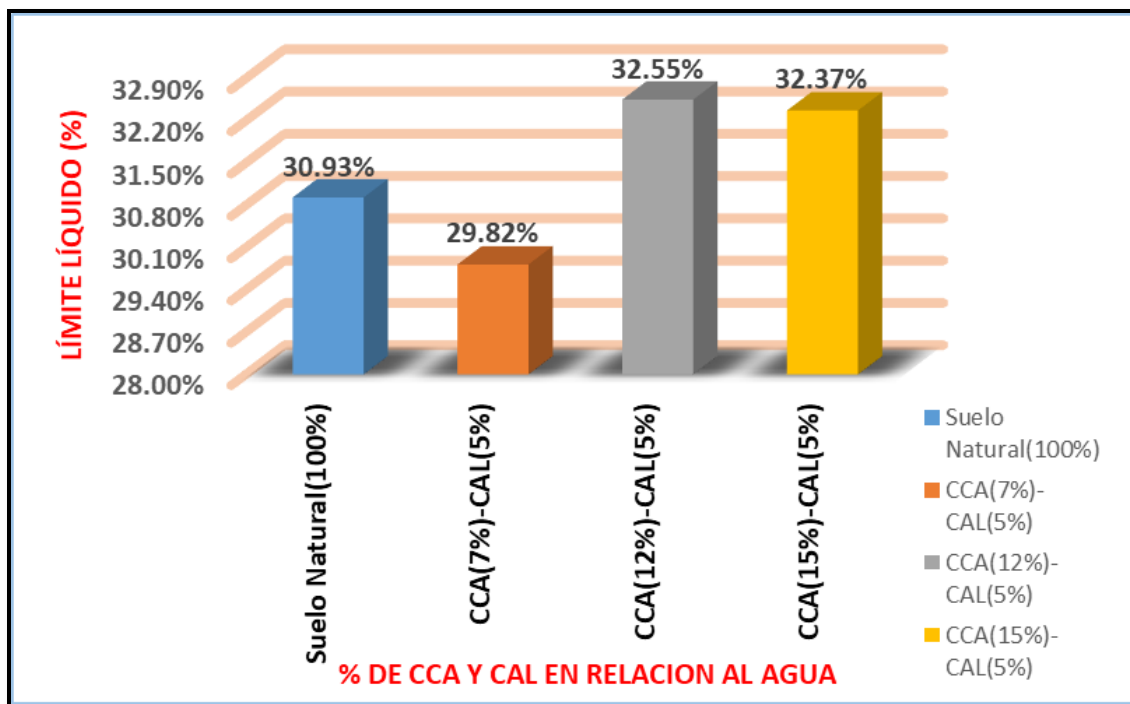


Figura 53 Variación del Límite Líquido según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL

Fuente: *Elaboración Propia*

El límite líquido incrementa ya que el tamaño de las partículas presentes en la muestra disminuye, por lo tanto, en la figura 54 se observa que el Límite Líquido del Suelo Natural es de 30.93% y se da un incremento al añadir 12% de CCA + 5% de CAL aproximadamente en 1.65% respecto al Suelo Natural; también se observa un incremento al añadir 15% de CCA + 5% de CAL aproximadamente en 1.50% respecto al Suelo Natural.

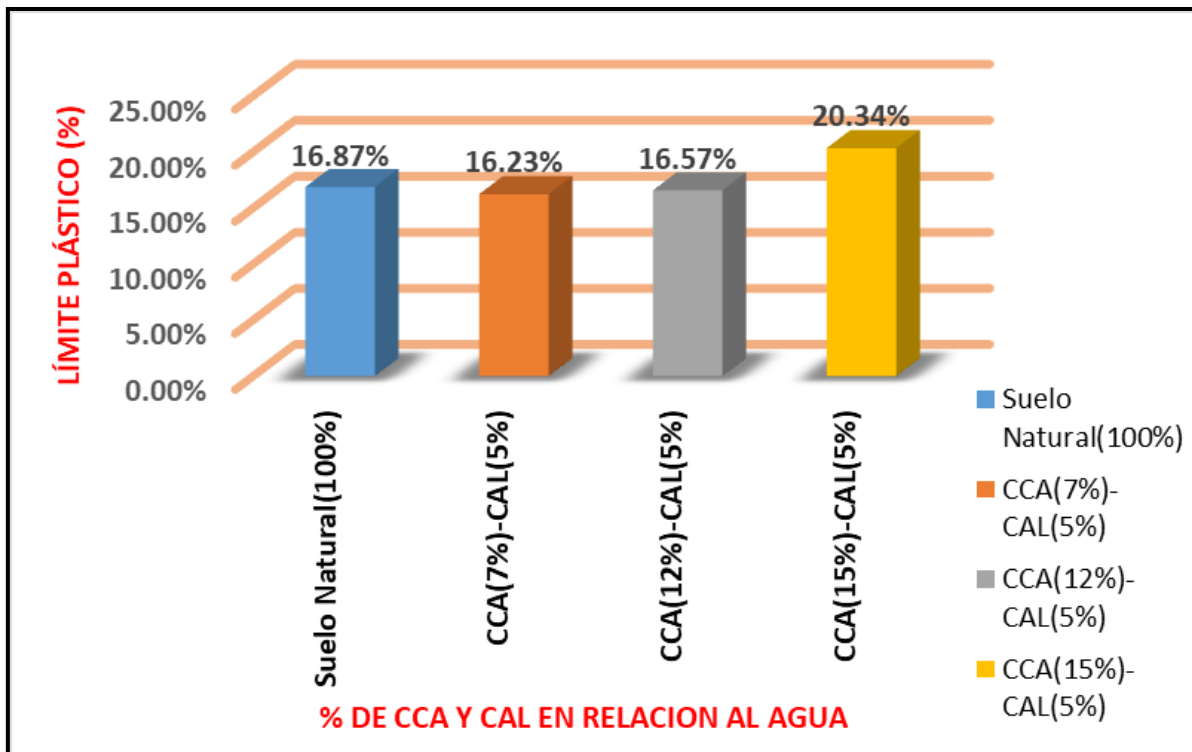


Figura 54 Variación del Límite Plástico según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 54 el límite plástico que presenta el suelo natural es de 16.87%, el cual incrementa solo al añadir 15% de CCA + 5% de CAL aproximadamente en 3.5%,

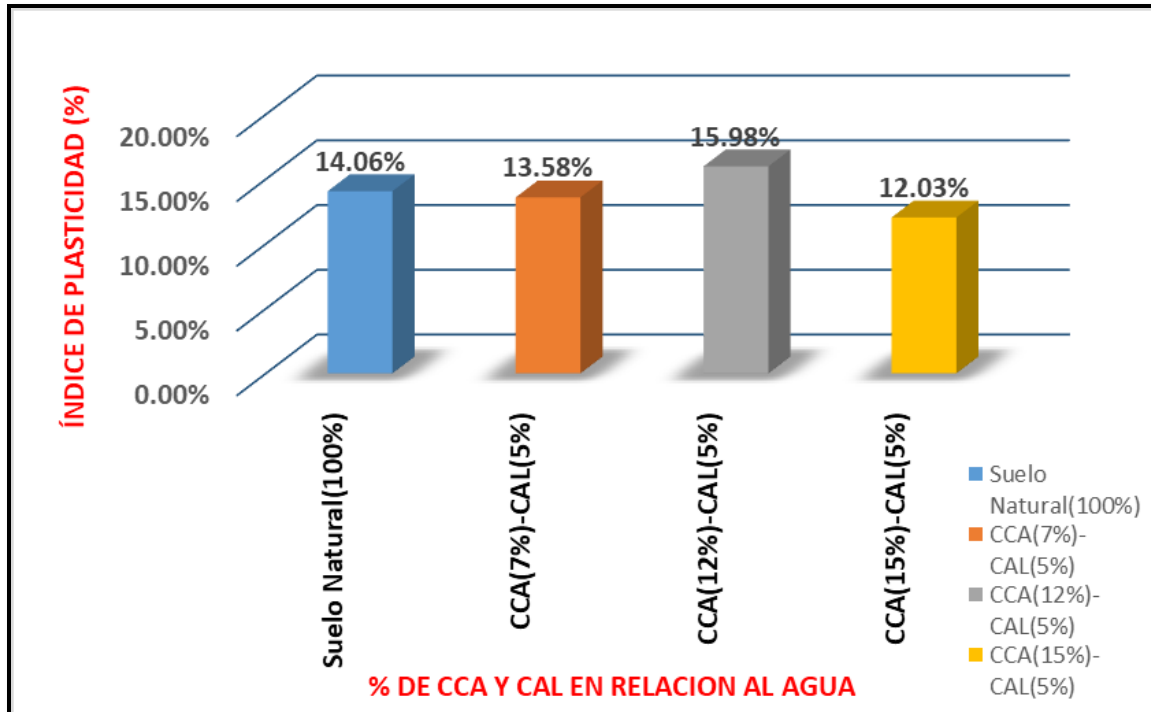


Figura 55 Variación del Índice de Plasticidad según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL

Fuente: Elaboración Propia

Los índices de plasticidad altos confirman que un suelo es arcilloso, caso contrario los índices de plasticidad bajos confirman que un suelo es poco arcilloso.

De acuerdo a la figura 55 se aprecia que el suelo natural tiene un I.P de 14.06%, por lo tanto, se clasifica como un suelo de plasticidad media con característica de suelo arcilloso, ya que este es mayor a 7% pero menor o igual a 20% como se aprecia en la tabla 2 Clasificación de suelos según Índice de plasticidad.

El índice de plasticidad se observa que solo incrementa al añadir 12% de CCA + 5% de CAL, siguiendo en el mismo rango de suelo con plasticidad media con característica de suelo arcilloso.

4.1.4. Clasificación de suelos

Tabla 76 Resumen de la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS

CLASIFICACION DE SUELOS	
SEGÚN SUCS	SEGÚN AASHTO
CL	A - 6 (8)
Arcilla ligera de baja plasticidad con arena	Contienen partiulas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo

Fuente: *Elaboración Propia*

Según al índice de grupo que norma AASHTO, el suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, será un suelo muy pobre para subrasante que se puede apreciar en la tabla 3 Clasificación de suelos según índice de grupo.

4.1.5. Relación de Humedad – densidad (Proctor Modificado)

Tabla 77 Cuadro comparativo de la variación de la DMS y CHO según el porcentaje de adición de CCA y CAL

Suelo	Porcentaje de Adicion de CCA Y CAL		DATOS	
	CCA	CAL	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Húmedad Óptima (%)
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%
88%	7%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%
83%	12%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%
80%	15%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%

Fuente: *Elaboración Propia*

El suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián cuenta con una Densidad Máxima Seca 1.88 gr/cm³ y un Contenido Óptimo de Humedad de 13.24% sin adición de: CCA y CAL.

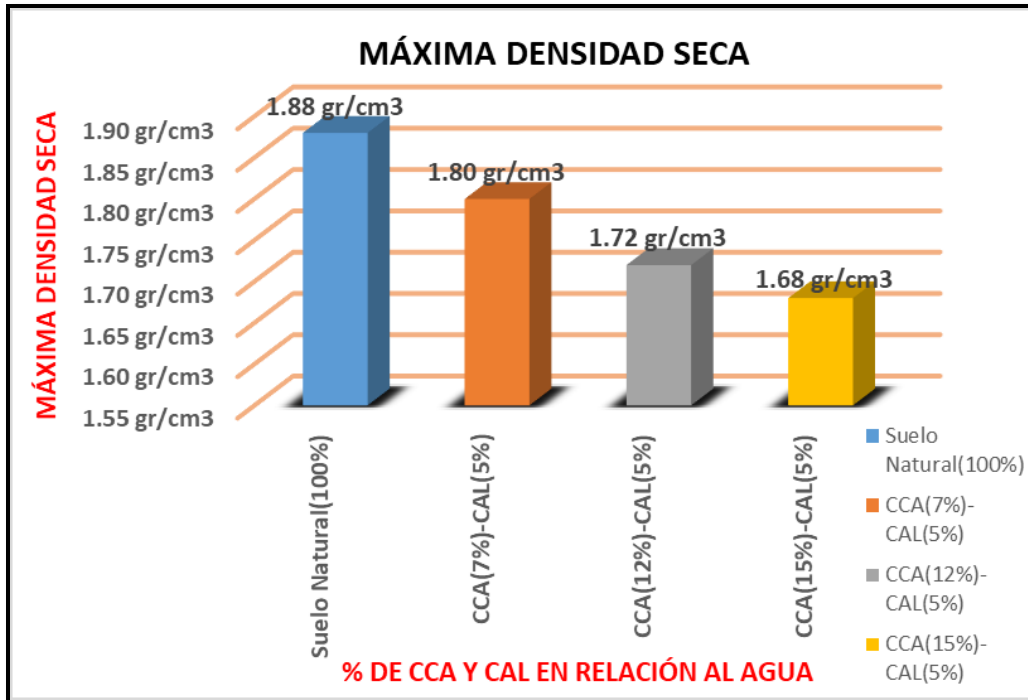


Figura 56 Resultado de la DMS vs el % de adición de CCA y CAL

Fuente: Elaboración Propia

Al momento de incrementar el porcentaje de CCA y CAL (7% + 5%, 12% + 5% y 15% + 5%) al suelo natural, la densidad máxima seca tiende a decrecer progresivamente tal cual se puede observar en la figura 56.

Con una dosificación de 7% de CCA + 5% de CAL, se alcanza una densidad de 1.80 gr/cm³ que es mayor a las otras dos dosificaciones pero es menor a la densidad del suelo natural.

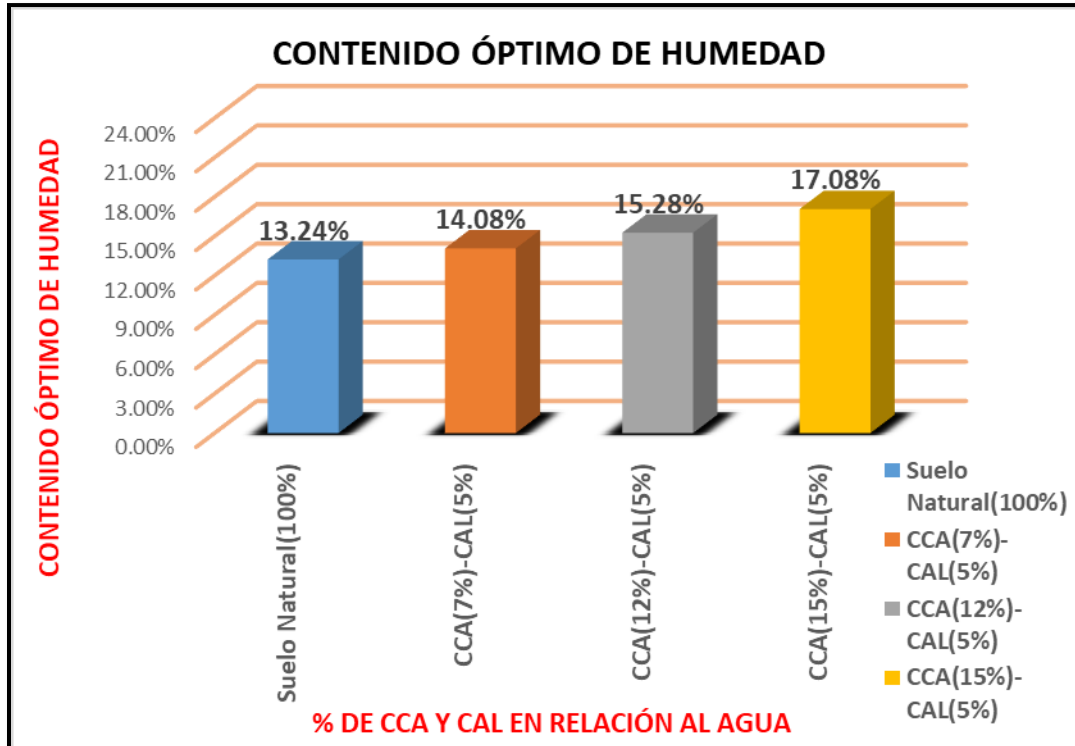


Figura 57 Resultado de Contenido Óptimo de humedad vs el % de CCA y CAL

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura 57 la humedad óptima del suelo natural es de 13.24% e incrementa a medida que se aumenta el porcentaje de ceniza de cascara de arroz y de cal, alcanzando su mayor valor al añadir 15% de CCA + 5% de CAL con 17.08%.

4.1.6. Ensayo de CBR (en laboratorio)

La relación de soporte de CBR se hizo con distintos números de golpes en diferentes capas, variando la adición del porcentaje de ceniza de cascara de arroz y cal.

Tabla 78 Cuadro de comparación de los resultados de CBR, DMS y CHO, considerando los distintos porcentajes de adición de CCA y CAL

DATOS					
%Suelo	%CCA	%CAL	Densidad Máxima	Húmedad Óptima	CBR al 95%
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%	4.45%
88%	7% - 5%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%	27.39%
83%	12% - 5%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%	28.09%
80%	15% - 5%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%	19.61%

Fuente: Elaboración Propia

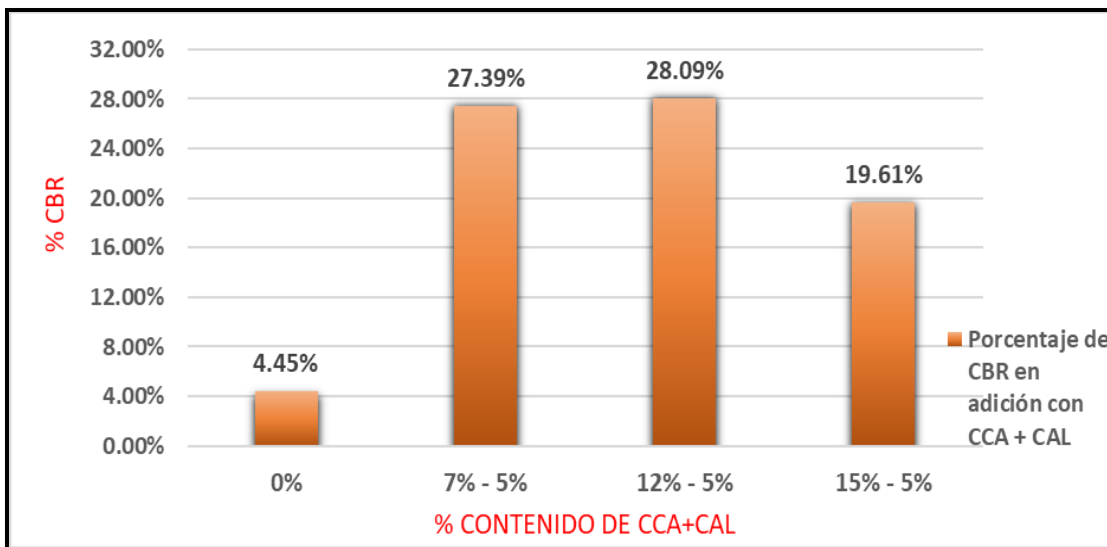


Figura 58 Variación de CBR en relación al porcentaje de CCA + CAL

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 78 se puede apreciar uno de los cuadros más destacados donde se muestra los resultados de la densidad máxima seca (DMS), contenido de humedad óptimo (CHO) y el porcentaje de CBR del suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián.

Así mismo, se observa en la tabla 78 y figura 58 que se obtiene el máximo CBR cuando se incrementa al suelo 12% de ceniza de cascara de arroz + 5% de CAL

Según la tabla 79 Clasificación de la subrasante de acuerdo al CBR nos indica que al agregar al suelo 12% de ceniza de cascara de arroz + 5% de CAL nuestro CBR se encuentra dentro de la categoría S4: Subrasante muy buena, ya que está dentro de los parámetros de $20\% \leq \text{CBR} < 30\%$, normado por el MTC-2013. Los resultados obtenidos nos indican que el incremento de CBR respecto a la subrasante es considerable.

Tabla 79 Cuadro Comparativo de CBR y DMS añadiendo distintos porcentajes de CCA y CAL, teniendo en cuenta el número de golpes por capa.

% ADICION DE ADITIVO		NÚMERO DE GOLPES					
		12		26		55	
% CCA	% CAL	Densidad Seca (gr/cm3)	CBR (%)	Densidad Seca (gr/cm3)	CBR (%)	Densidad Seca (gr/cm3)	CBR (%)
0%	0%	1.77 gr/cm3	4.23%	1.82 gr/cm3	4.96%	1.89 gr/cm3	7.12%
7%	5%	1.59 gr/cm3	13.19%	1.68 gr/cm3	24.90%	1.79 gr/cm3	32.53%
12%	5%	1.48 gr/cm3	14.79%	1.59 gr/cm3	24.37%	1.69 gr/cm3	34.16%
15%	5%	1.43 gr/cm3	14.39%	1.55 gr/cm3	18.74%	1.67 gr/cm3	20.64%

Fuente: Elaboración Propia.

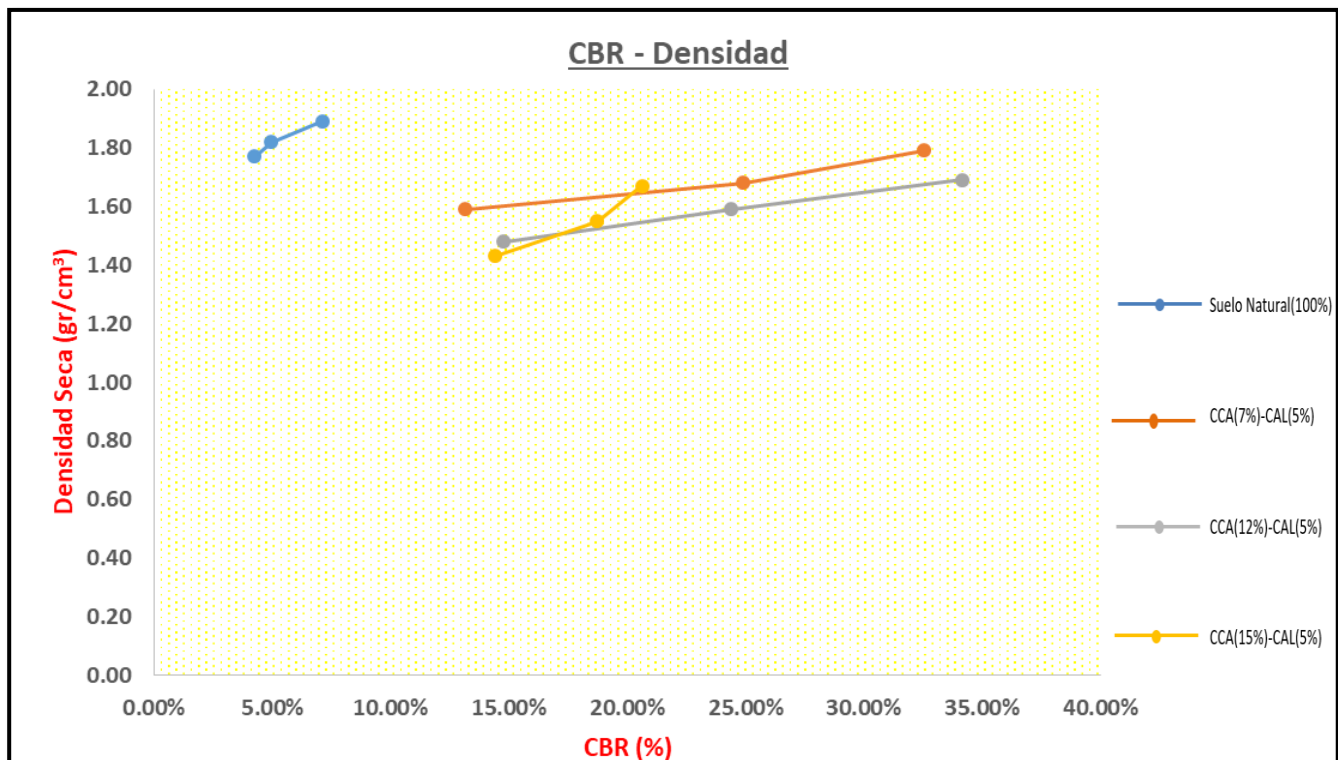


Figura 59 Resumen de las densidades máximas vs CBR
Fuente: Elaboración Propia

La densidad seca y el CBR tienden a subir a medida que se aumenta el número de golpes por capa realizado en la compactación y se tendrá mejores resultados al utilizar 55 golpes, tal cual se aprecia en la tabla 79 y en la figura 59.

Cuando se añade al suelo 12% de ceniza de cascara de arroz + 5% de CAL y se realiza una compactación de 55 golpes, se obtiene mejores resultados de CBR, aproximadamente siendo cinco veces mayor al suelo natural sin aditivo.

Tabla 80 Cuadro comparativo del % de Expansión en relación a distintos % de CCA y CAL, respecto a la fuerza de compactación

% ADICION DE ADITIVO		FUERZA DE COMPACTACIÓN (NÚMERO DE GOLPES)		
% CCA	% CAL	12	26	55
		EXPANSIÓN (%)		
0% - 0%	0%	1.83%	2.16%	1.75%
7% - 5%	5%	0.94%	0.65%	0.57%
12% - 5%	5%	0.81%	0.62%	0.57%
15% - 5%	5%	0.59%	0.51%	0.22%

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la tabla 80 y a la figura 60, se aprecia que el porcentaje de expansión se ve afectado respecto a la fuerza de compactación, es decir que a mayor número de golpes menor será el porcentaje de expansión.

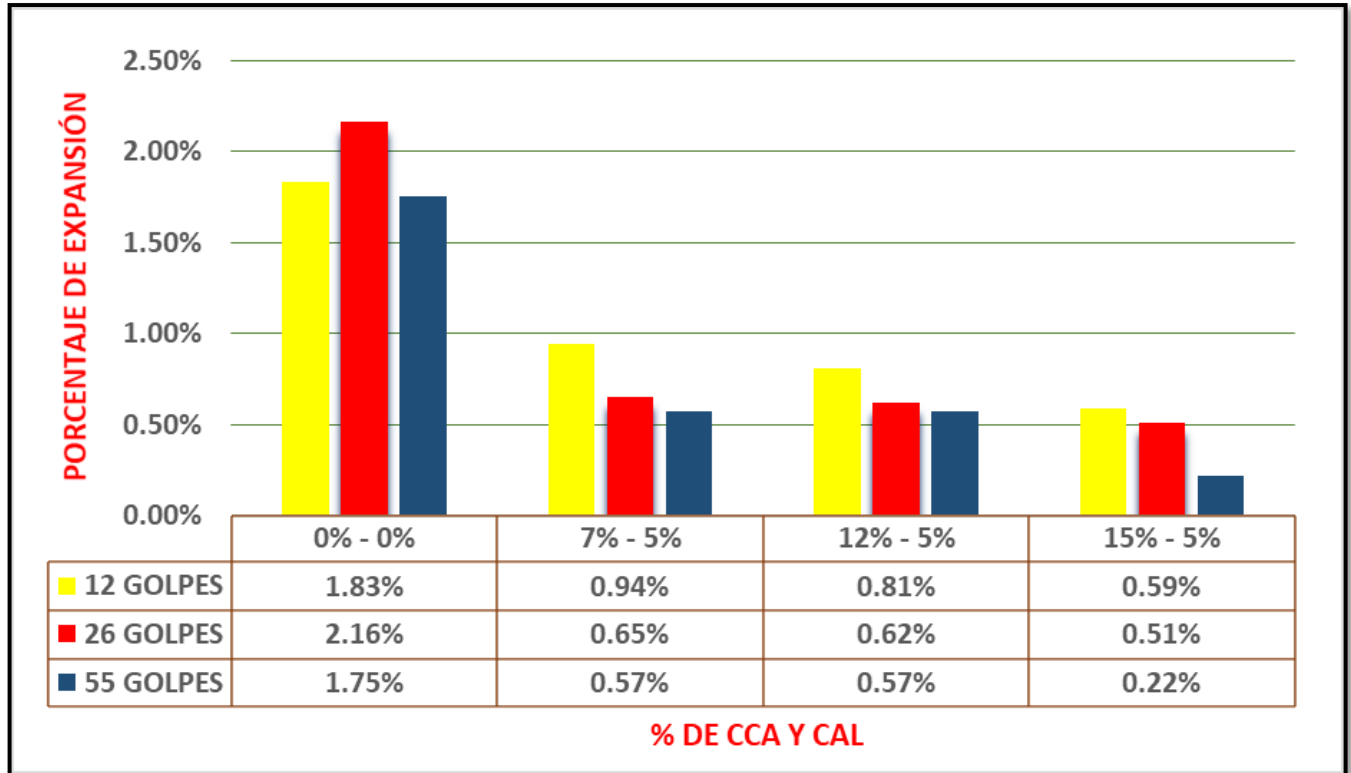


Figura 60 Resumen del % de Expansión en relación a la adición del % de CCA y CAL, respecto a la fuerza de compactación

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la adición de ceniza de cascara de arroz y cal, influye en la expansión, esto debido a que se incrementa CCA + CAL, disminuye la expansión.

Entre las características del hinchamiento de los suelos y las características plásticas, se afirma que, si el índice de plasticidad es menor a 15, el grado potencial expansivo es bajo.

El suelo natural que se ensaya presenta una expansión baja, ya que el porcentaje de expansión a los 12 golpes es de 1.83%.

Capítulo V

5. Discusión

A) Contraste de resultados con referencia al marco teórico

¿El suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante, necesita mejoramiento?

Si, el suelo procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián necesita mejoramiento porque según la “categoría sub-rasante según la norma CE.010 pavimentos urbanos” y según la “categoría sub-rasante Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección: Suelos y Pavimentos” pertenece a un suelo de subrasante pobre, es por eso que se mejora utilizando ceniza de cascara de arroz y cal como estabilizadores, véase la tabla 81

Tabla 81 Cuadro comparativo de la categoría de la Sub-rasante según los datos obtenidos al añadir CCA y CAL en distintos porcentajes

MUESTRA	CBR AL 95% DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO		CATEGORIA SUB-RASANTE SEGÚN LA NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS	Categoria SUB-RASANTE según Manual de Carretera- Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos	
	CCA	CAL			
Suelo					
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%	4.45%
88%	7%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%	27.39%
83%	12%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%	28.09%
80%	15%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%	19.61%

Fuente: Elaboración Propia

¿De qué manera se hizo el uso de la ceniza de cascara de arroz y la cal en el suelo natural?

La ceniza de cascara de arroz es un estabilizador no convencional (sólido en polvo de color gris) y la cal viva un estabilizador químico, que se va a usar en porcentajes de en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.

¿De alguna forma cambia el tipo de suelo cuando se le adiciona ceniza de cascara de arroz?

No, porque el suelo no se verá afectado por la adición de ceniza de cascara de arroz y cal, ya que este suelo estabilizado alberga la misma granulometría, por lo que sigue con la misma clasificación de suelos, lo único que cambia son únicamente las propiedades.

¿Cuánto será el porcentaje del contenido de Sílice SiO_2 que presenta la ceniza de cascara de arroz que proviene del poblado de Pilcopata distrito de Kosñipata Provincia de Paucartambo Departamento del Cusco?

El contenido de sílice de la cascarrilla de arroz proveniente del poblado de Pilcopata presenta un porcentaje de 86.80% de SiO_2 , el ensayo realizado fue el de análisis físico-químico mediante el método gravimétrico realizado en Laboratorio de Química.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS
Nº00145-19-LAQ

SOLICITANTE: DIEGO ARGANDOÑA PUMA
DIRECCION : CUSCO
MUESTRA : CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ QUEMADO
OBJETIVO : DETERMINAR SILICE
FECHA : 02/24/04/2019

RESULTADO ANALISIS:

Sílice % SiO_2	86.80
-------------------------	-------

Cusco, 26 de Abril 2019

UNSAAC

Figura 61 Análisis Químico de la ceniza de cascarrilla de arroz procedente del poblado de Pilcopata distrito de Kosñipata provincial de Paucartambo Fuente: Unidad de prestaciones deservicio de análisis químico- departamento académico de química -UNSAAC



¿Qué costo represento la obtención de la ceniza de cascarilla de arroz extraída de la zona de Pilcopata?

Se realizo el siguiente costo unitario, con la finalidad de obtener el costo total de la obtención de la ceniza de cascarilla de arroz.

Partida	01.01.01 Empaquetado de cascarilla de arroz en costal de polipropileno						
Rendimiento	m3/DIA	9.0000	EQ. 9.0000	Costo unitario directo por : m3			16.57
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.8889	5.44	4.84	4.84
Materiales							
0293010001	COSTAL DE POLIPROPILENO	und		4.0000	2.00	8.00	
0293010002	RAFIA	rl		1.0000	2.00	2.00	
0293010003	AGUJA PUNTA ROMA	und		1.0000	1.50	1.50	11.50
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	7.76	0.23	0.23
Partida	01.02.01 Transporte terrestre de cascarilla de arroz Pilcopata - Cusco						
Rendimiento	m3/DIA	15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m3			23.21
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5333	5.44	2.90	2.90
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	10.44	0.31	
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	0.0000	1.0000	20.00	20.00	20.31



Partida	01.03.01 Incineración de cascarilla de arroz en Horno artesanal						
Rendimiento	m3/DIA	4.0000	EQ. 4.0000	Costo unitario directo por : m3		50.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	2.0000	5.44	10.88	
Materiales							
0204310001	Recipiente de lata	und		2.0000	1.50	3.00	
0231230001	Leña de eucalipto	kg		9.0000	0.64	5.76	
0294010001	Fósforo	und		1.0000	0.50	0.50	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.72	0.02	
0305010001	Horno artesanal	día		1.0000	30.00	30.00	
30.02							
Partida	01.04.01 Almacenamiento de bolsas de polietileno con contenido de ceniza de cascarilla de arroz						
Rendimiento	m3/DIA	16.0000	EQ. 16.0000	Costo unitario directo por : m3		13.75	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5000	5.44	2.72	
Materiales							
0295010001	Bolsa de polietileno	bol		11.0000	1.00	11.00	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.86	0.03	
0.03							
Partida	01.05.01 Trituración de ceniza de cascarilla de arroz en la Máquina de Abrasión Los Angeles						
Rendimiento	m3/DIA	5.0000	EQ. 5.0000	Costo unitario directo por : m3		158.73	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	1.0000	1.6000	5.44	8.70	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.86	0.03	
0306010001	Máquina de Abrasión Los Angeles (12 esfér. hm)			1.0000	150.00	150.00	
150.03							

Figura 62 Análisis de precios unitarios para la obtención de ceniza de cascarilla de arroz de la zona de Pilcopata

Se obtiene un costo total de S/. 262.42 soles por m³: este costo hace referencia a la obtención de ceniza de cascarilla de arroz para el estudio de tesis, ya que realmente el proceso de obtención no tiene costo, debido a que la ceniza de cascarilla de arroz.



B) Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

¿Cuál de las dosificaciones de ceniza de cascara de arroz y cal es la óptima?

Según resultados obtenidos la dosificación óptima viene a ser 12% de ceniza de cascara de arroz + 5% CAL, porque con esta dosificación el CBR del suelo natural incrementa en casi 6.5 veces su valor, tanto así, que el suelo estabilizado es nuevamente reclasificado en el rango de subrasante muy buena ($20 \leq \text{CBR} < 30$).

¿El suelo natural usado a nivel de subrasante cumple con los requerimientos de CBR?

No, según los ensayos realizados en laboratorio nos indica que el suelo natural posee un CBR clasificado como subrasante pobre, según el Manual de Carreteras: Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC 2013.

En nuestra investigación al añadir ceniza de cascara de arroz y cal, incrementa y mejora las propiedades del CBR, límite líquido y límite plástico.

Donde tiene mayor incidencia es en el ensayo de CBR, al añadir ceniza de cascara de arroz y cal, ya que mejora e incluso es reclasificada de una subrasante pobre a una subrasante muy buena.

C) Comentario de la demostración de la Hipótesis

¿Se ratificó la hipótesis general?

Las Propiedades Físico Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco incrementaran al utilizar ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5%; respectivamente, con relación al agua de mezcla.

Efectivamente en la investigación realizada se demostró lo solicitado en la hipótesis, ya que se consiguen mejores resultados estabilizando la sub-rasante del suelo proveniente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi añadiendo ceniza de arroz y cal, obteniendo un incremento en las propiedades físico-mecánicas de dicho suelo.



¿La mayor dosificación de ceniza de cascará de arroz y cal siempre tendrá un mayor incremento de CBR?

Como se puede observar en los ensayos evaluados, el porcentaje que varía es la ceniza de cascara de arroz (7%, 12% y 15%) y el que se mantiene estable es el porcentaje de cal (5%). El mayor CBR se alcanza al añadir al suelo 12% de CCA + 5% de CAL, lo cual no ocurre cuando el porcentaje de CCA aumenta (15% de CCA + 5% de CAL) ya que el CBR disminuye, al no evaluar otros porcentajes no podemos afirmar si la tendencia a disminuir el CBR seguirá siendo igual.

¿Por qué la densidad del suelo disminuye y a su vez incrementa el contenido de humedad óptimo al añadir ceniza de cascara de arroz?

La densidad del suelo se ve afectada cuando se añade en mayor porcentaje el contenido de ceniza de cascara de arroz; ya que la ceniza de cascará de arroz presenta un peso bajo, pero ocupa un volumen, de igual manera habrá un incremento en el contenido óptimo de agua por lo explicado anteriormente.

D) Aporte de la Investigación

¿Qué aporte brinda esta investigación?

Se deduce que la investigación pertenece a la rama de Geotecnia, ya que se realiza el mejoramiento de suelos, aporta al estudio de un aditivo no convencional soluble al agua para lograr estabilizar la subrasante de un suelo arcilloso, evaluando las propiedades físico-mecánicas a nivel de subrasante procedente de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en distintos porcentajes.

Además, se debe tener en cuenta que con este estudio realizado en el suelo arcilloso de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, se pueden estabilizar otros suelos arcillosos de diferentes localidades de nuestra Región.

E) Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerando dentro de los objetivos de la investigación



¿El uso de este aditivo químico añadido (ceniza de cascara de arroz), se limita al uso en la subrasante?

El uso de la ceniza de cascara de arroz se puede usar también para estabilizar las sub-bases, así también se puede usar para mejorar las propiedades comportamientos de los afirmados, por el alto contenido de sílice que posee en su estructura. A demás se puede usar para mejorar para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto en la rama de Tecnología del Concreto.



GLOSARIO

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

ADITIVO: Sustancia o elemento que se agrega a otras para darle cualidades de que carecen o para mejorar las que poseen.

AGREGADO: Porción del suelo que pasa el tamiz de $\frac{3}{4}$ " y queda retenido en el tamiz n° 04.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.

CAL: Oxido de Calcio, sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que, al contacto se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor y mezclada con arena, forma argamasa o mortero.

CHO: Contenido de Humedad Optimo.

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal

COMPACTACIÓN: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica

CCA: Ceniza de Cascara de Arroz

DEGRADACIÓN: Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla

DENSIDAD: **Relación** entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DSM: Máxima Densidad Seca del Suelo.

EQUIPO DE COMPACTACIÓN PESADO: Equipo de compactación como rodillos lisos y vibratorios sobre neumáticos, entre otros. Estos aplican una energía de compactación mayor que la brindada por los equipos comercializados antes de la segunda guerra mundial y representada en laboratorio, mediante el ensayo de Proctor Modificado.

ENERGÍA MODIFICADA: Energía de compactación equivalente a la del ensayo de Proctor Modificado



ESTABILIDAD: Máxima Densidad Seca del Suelo.

COMPACTACIÓN: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

GS: Gravedad Especifica del Suelo.

HUMEDAD RELATIVA: Porcentaje de agua presente en el aire a una determinada temperatura.

MATERIAL FINO Porción del Suelo que pasa por el tamiz n° 04.

MATERIAL TRATADO: Definición de material estabilizado con alguna adición que cumplirá una finalidad estructural.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.

SUB RASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno) sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUCS: Unified Soil Classification System (USCS) o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

SUELOS ESTABILIZADOS: Son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionarle un estabilizador como cal, cemento o aditivo químico, iónico o no convencional.

TAMIZ: Aparato en un laboratorio usado para separar tamaños de material y donde las aberturas son cuadradas.

CONCLUSIONES

Conclusión N° 1.

Se cumple satisfactoriamente con la hipótesis general, la cual indica:

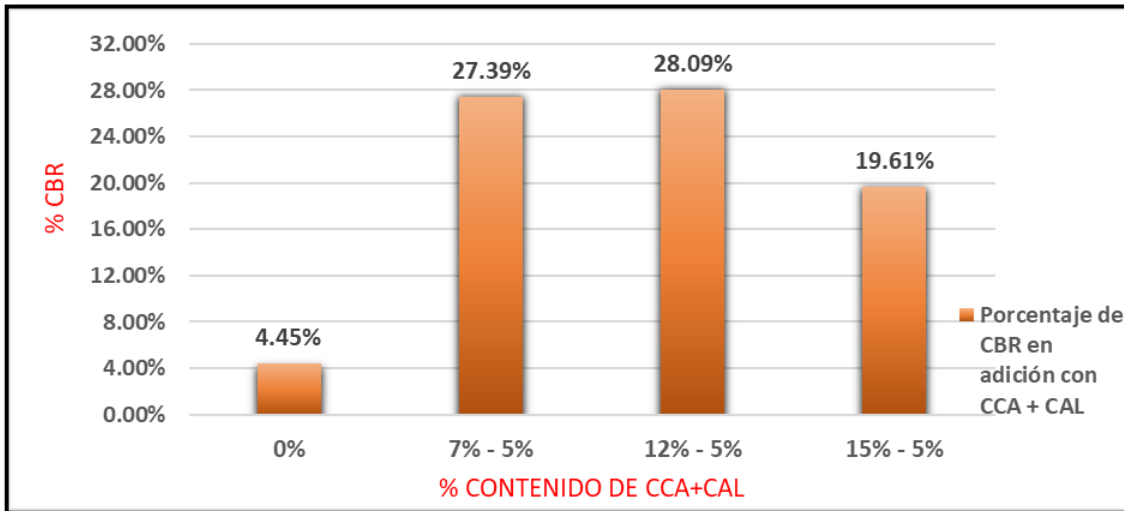
Las Propiedades Físico Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco incrementaran al utilizar ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5%; respectivamente, con relación al agua de mezcla.

Al añadir al suelo natural ceniza de cascara de arroz (CCA) para ser utilizado a nivel de subrasante, se observa una mejora notable entre los porcentajes: 7% de CCA + 5% de CAL y 12% de CCA + 5% de CAL con relación al agua de mezcla, como se puede observar en la tabla 73, donde se hace una comparación de CBR, DSM y CHO respecto a los distintos porcentajes de adición de ceniza de cascara de arroz y cal.

De igual manera se observa en la figura 58 que el máximo CBR es de 28.09% añadiendo 12% de CCA + 5% de CAL con relación al agua de mezcla, dicho CBR respecto al CBR natural, es casi 6.5 veces más de su valor inicial.

Resumen de CBR's, DSM y CHO añadiendo CCA + CAL (TABLA 73)

DATOS					
%Suelo	%CCA	%CAL	Densidad Máxima	Húmedad Óptima	CBR al 95%
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%	4.45%
88%	7% - 5%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%	27.39%
83%	12% - 5%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%	28.09%
80%	15% - 5%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%	19.61%



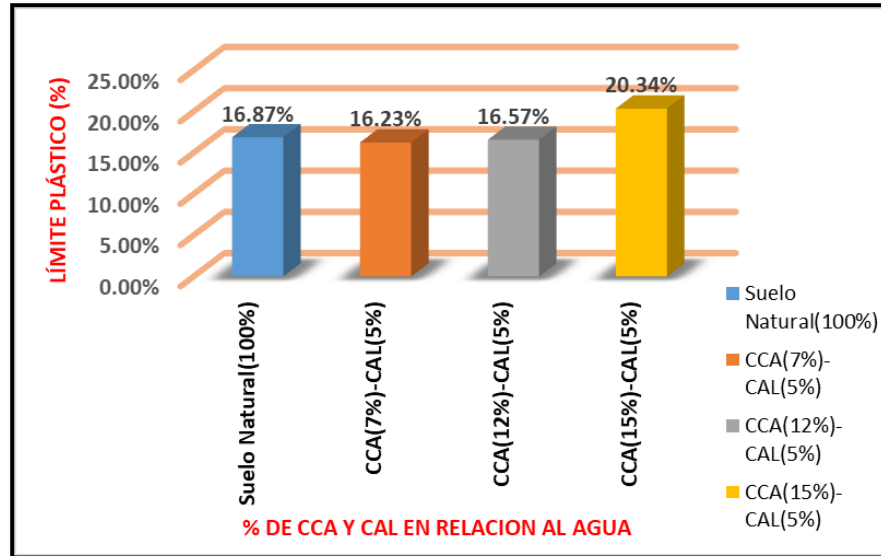
Variación de CBR en relación al porcentaje de CCA + CAL (FIGURA 58)

Conclusión N° 2.

Se cumple parcialmente la sub-hipótesis N°1, la cual indica:

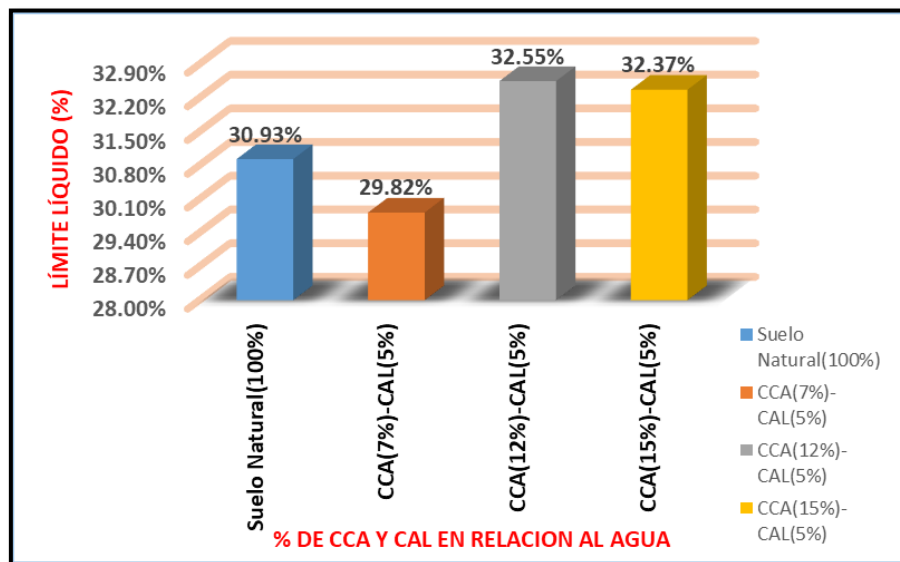
El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la Región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal tendrá mayor límite plástico, menor límite líquido y aumentara el índice de plasticidad según la adición de la ceniza de cascara de arroz y cal.

El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal, si tiene mayor límite plástico como se aprecia en la figura 54, teniendo el mayor límite plástico cuando se añade 15% de CCA + 5% de CAL, incrementado 3.47% respecto al límite plástico del suelo natural. Pero al añadir 7% de CCA + 5% de CAL y 12% de CCA + 5% de CAL, el límite plástico disminuye respecto al límite plástico del suelo natural.



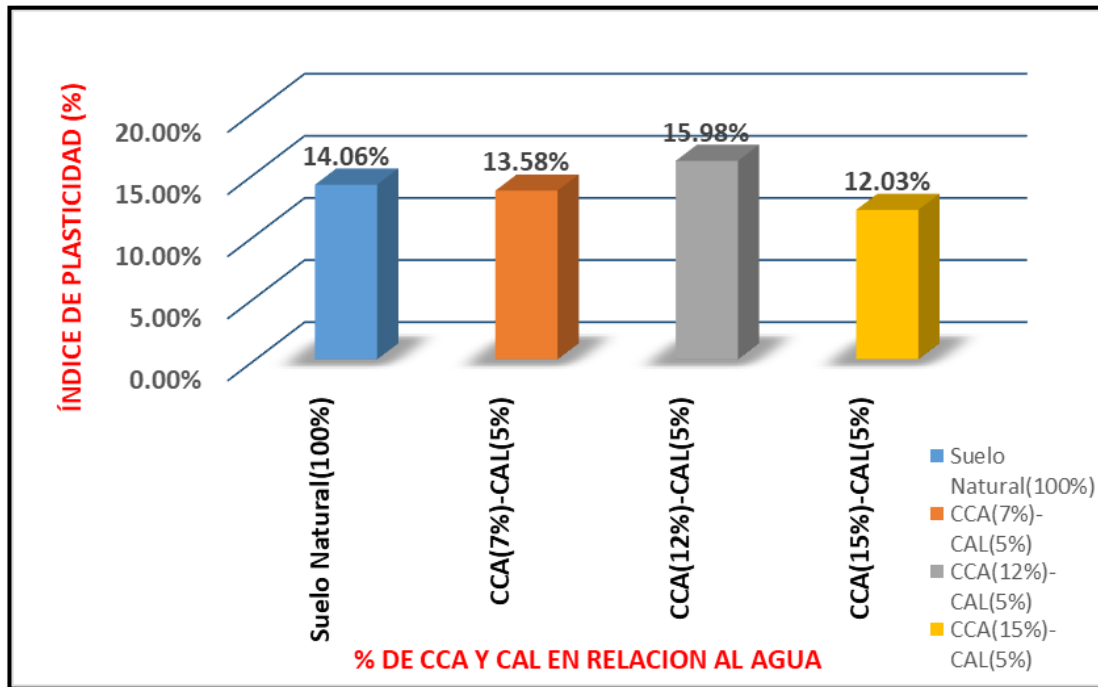
Variación del Límite Plástico según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL (FIGURA 54).

El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal, no tiene menor límite líquido como se aprecia en la figura 53, teniendo el mayor límite líquido cuando se añade 12% de CCA + 5% de CAL, incrementado 1.62% respecto al límite líquido del suelo natural. Pero al añadir 7% de CCA + 5% de CAL, el límite líquido disminuye respecto al límite líquido del suelo natural.



Variación del Límite Líquido según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL (FIGURA 53)

El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal, si aumentó el índice de plasticidad como se aprecia en la figura 55, teniendo el mayor índice de plasticidad cuando se añade 12% de CCA + 5% de CAL, incrementado 1.92% respecto al índice de plasticidad del suelo natural. Pero al añadir 7% de CCA + 5% de CAL y 15% de CCA + 5% de CAL el índice de plasticidad disminuye respecto al índice de plasticidad del suelo natural.



Variación del Índice de Plasticidad según la adición de diferentes porcentajes de CCA y CAL (FIGURA 55).

Conclusión N° 3.

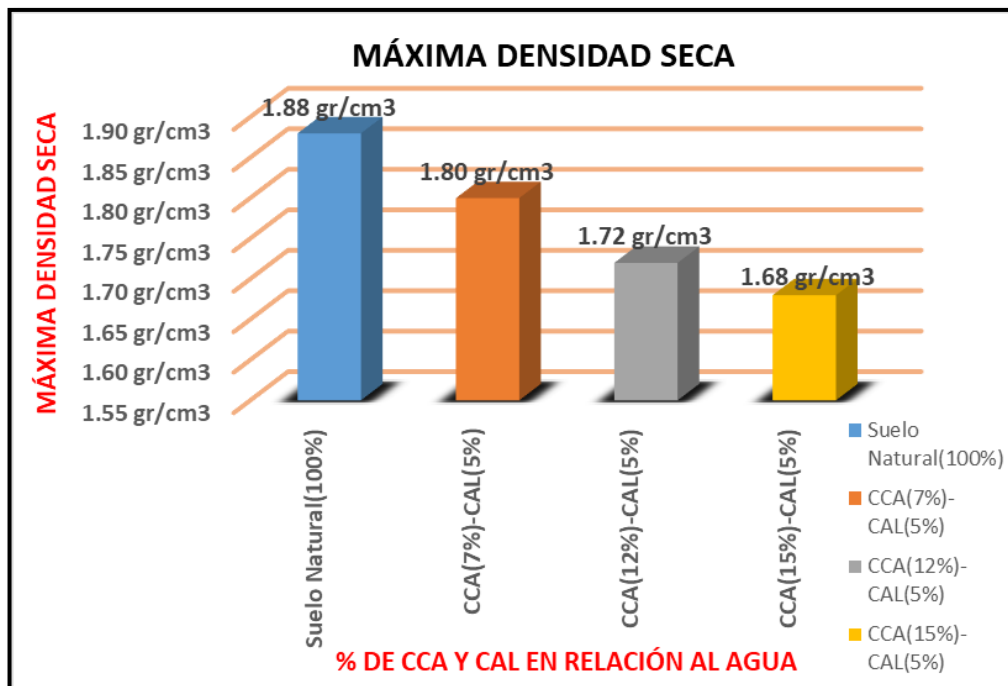
Se cumple satisfactoriamente con la sub-hipótesis N°2, la cual indica:

La densidad del suelo obtenido de la Apv. Kari grande vía rumi Wasi – San Sebastián, disminuirá mientras más se añade ceniza de cascara de arroz e incrementara en el contenido óptimo de agua al agregar ceniza de cascara de arroz.

Si se cumplió con la sub-hipótesis específica, como se indica en la tabla 77 y en la figura 56, disminuyen progresivamente los valores de la densidad máxima según sea el incremento del porcentaje de ceniza de cascara de arroz y cal, con una dosificación de 15% de CCA + 5% de CAL se obtiene la menor densidad máxima disminuyendo 0.20 gr/cm³ frente a la densidad máxima del suelo natural.

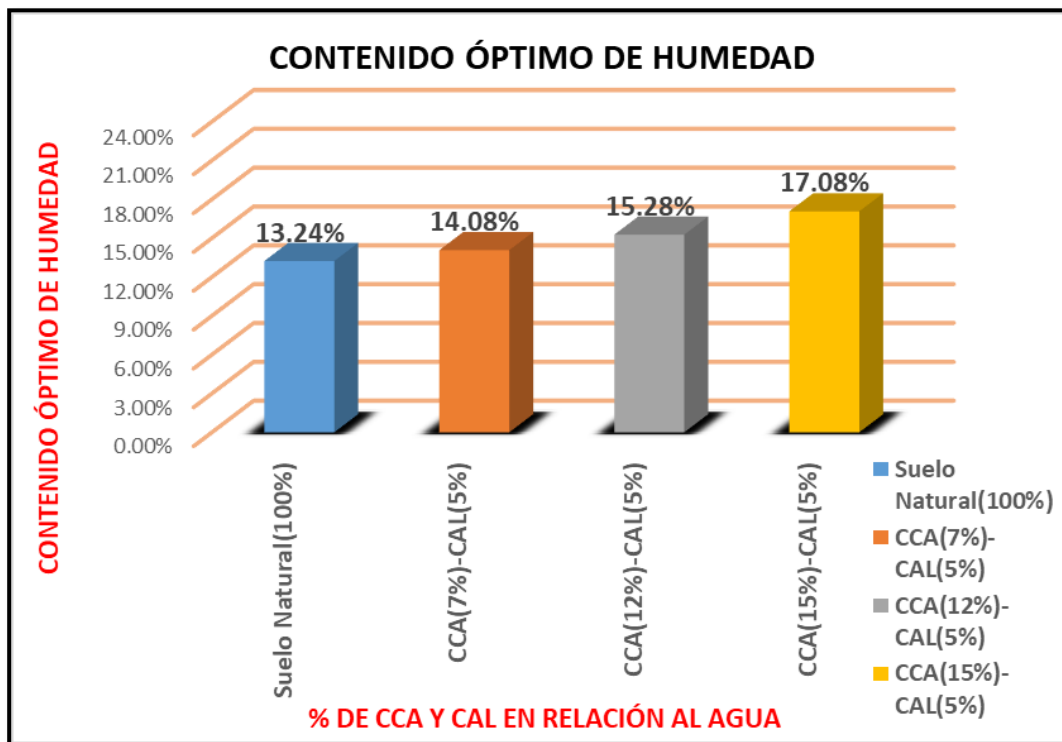
Cuadro comparativo de la variación de la DMS y CHO según el porcentaje de adición de CCA y CAL (TABLA 77)

Suelo	Porcentaje de Adición de CCA Y CAL		DATOS	
	CCA	CAL	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Húmedad Óptima (%)
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%
88%	7%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%
83%	12%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%
80%	15%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%



Resultado de la DMS vs el % de adición de CCA y CAL (FIGURA 56)

Si se cumplió con la sub-hipótesis específica, como se indica en la tabla 77 y en la figura 57, aumenta progresivamente los valores del contenido óptimo de humedad según sea el incremento del porcentaje de ceniza de cascara de arroz y cal, con una dosificación de 15% de CCA + 5% de CAL se obtiene el mayor contenido óptimo de humedad incrementando 3.84% frente a la densidad máxima del suelo natural.



Resultado de Contenido Óptimo de humedad vs el % de CCA y CAL (FIGURA 57)

**Conclusión N° 4.**

Se cumple satisfactoriamente con la sub-hipótesis N°3, la cual indica:

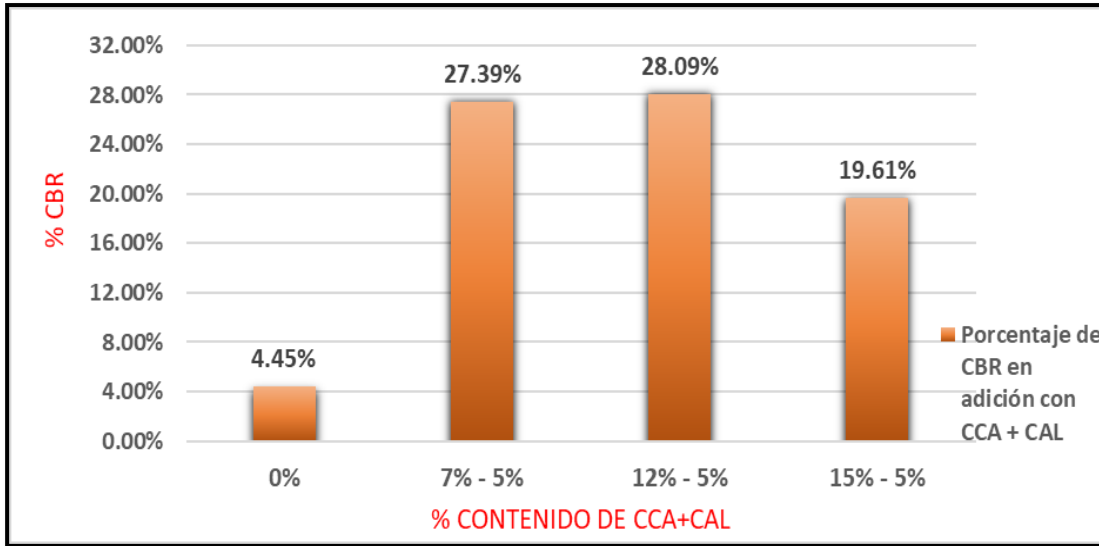
La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante aumentara más del 20% estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5% y 12%-5%, respectivamente.

La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián, si aumenta más del 20% cuando se añade ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7% de CCA + 5% de CAL y 12% de CCA + 5% de CAL en relación al agua de mezcla a nivel de subrasante, como se observa en la Tabla 78 y en la figura 58, al añadir 7% de CCA + 5% de CAL aumenta en 22.94% frente al CBR del suelo natural, al añadir 12% de CCA + 5% aumenta en 23.64% frente al CBR del suelo natural.

El suelo estabilizado cambia de clasificación, de ser un suelo de subrasante pobre a un suelo de subrasante muy buena según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos- Sección: Suelos y Pavimentos.

Cuadro de comparación de los resultados de CBR, DMS y CHO, considerando los distintos porcentajes de adición de CCA y CAL (TABLA 78)

DATOS					
%Suelo	%CCA	%CAL	Densidad Máxima	Húmedad Óptima	CBR al 95%
100%	0%	0%	1.88 gr/cm ³	13.24%	4.45%
88%	7% - 5%	5%	1.80 gr/cm ³	14.08%	27.39%
83%	12% - 5%	5%	1.72 gr/cm ³	15.28%	28.09%
80%	15% - 5%	5%	1.68 gr/cm ³	17.08%	19.61%



Variación de CBR en relación al porcentaje de CCA + CAL (FIGURA 58)

Conclusión N° 5.

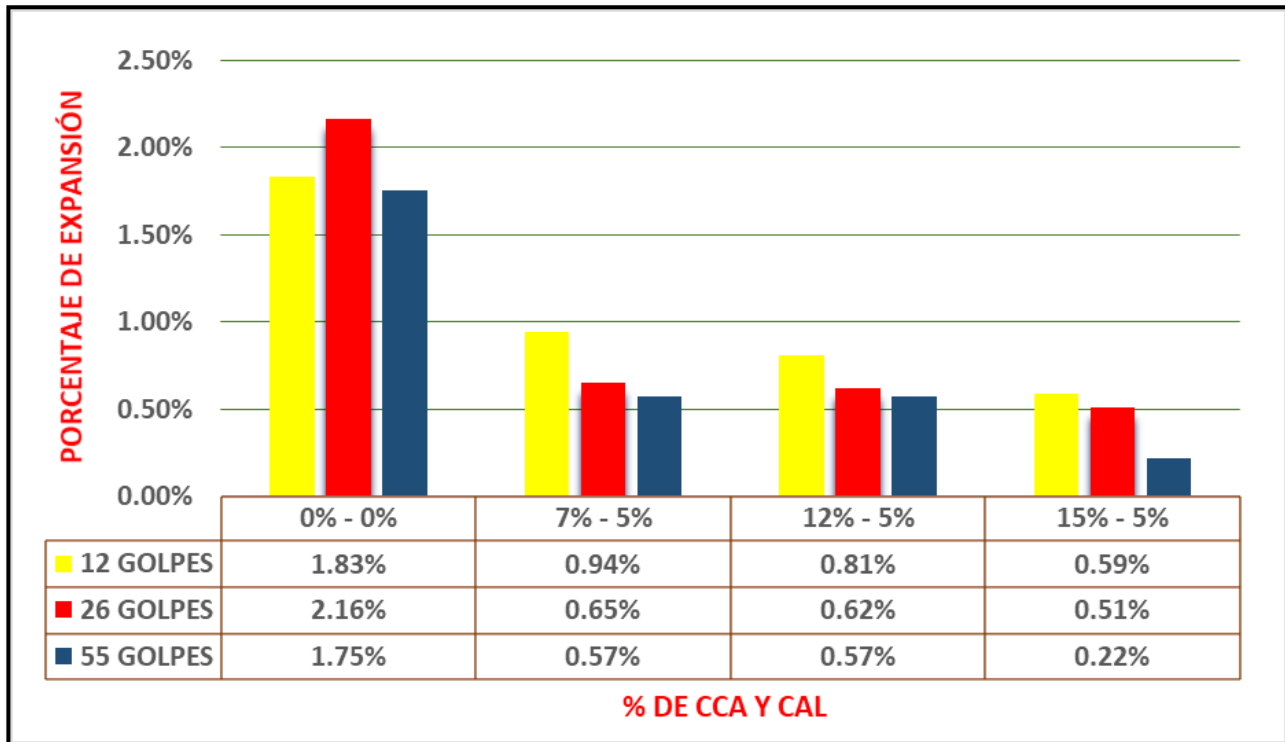
Se cumple satisfactoriamente con la sub-hipótesis N°4, la cual indica:

La Expansión Del Suelo Obtenido de la Apy. Kari Grande Vía Rumi Wasi – San Sebastián, utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 7%-5%, 12%-5% y 15%-5% de ceniza de cascara de arroz y cal respectivamente

Se llega a cumplir con la sub-hipótesis N°4, según se observa en la tabla 80 y la figura 60, se verifica que la expansión disminuye según sea la fuerza de compactación, recalcando que a mayor número de golpes será menor el porcentaje de expansión. Según sea la correspondencia entre las características plásticas y el hinchamiento de los suelos, se afirma que, si el índice de plasticidad es menor a 15, por lo tanto, el grado de potencial expansivo es bajo.

Cuadro comparativo del % de Expansión en relación a distintos % de CCA y CAL, respecto a la fuerza de compactación (TABLA 80)

% ADICION DE ADITIVO		FUERZA DE COMPACTACIÓN (NÚMERO DE GOLPES)		
% CCA	% CAL	12	26	55
		EXPANSIÓN (%)		
0% - 0%	0%	1.83%	2.16%	1.75%
7% - 5%	5%	0.94%	0.65%	0.57%
12% - 5%	5%	0.81%	0.62%	0.57%
15% - 5%	5%	0.59%	0.51%	0.22%



Resumen del % de Expansión en relación a la adición del % de CCA y CAL, respecto a la fuerza de compactación (FIGURA 60).



RECOMENDACIONES

Recomendación N° 1.

Antes de realizar todo tipo de ensayo en laboratorio, es fundamental inspeccionar los instrumentos con los que se va a llevar a cabo los ensayos; y que los equipos estén correctamente calibrados.

Recomendación N° 2.

Se pudo observar que la ceniza de cascara de arroz actúa como un agente de estabilizador para suelos medianamente plásticos expansivos, por lo que se recomienda continuar con futuras investigaciones con diferentes suelos, y también poder usarlo como estabilizante para sub-base, suelos granulares o extraídos de cantera

Recomendación N° 3.

Se recomienda realizar la calcinación de la cascara de arroz en hornos industriales bajo temperatura controlada que sea mayor a 800°C, con un tiempo máximo de 5 minutos por de muestra para conseguir un residuo más abundante en Sílice.

Recomendación N° 4.

La presente investigación se realizó con combinaciones de ceniza de cascara de arroz y cal, se recomienda investigar otro tipo de suelos combinados con ceniza de cascara de arroz y otros estabilizadores ya sea el cemento, ceniza volante, RBI-81, entre otros.

Recomendación N° 5.

Con las combinaciones de ceniza de cascara de arroz y cal; que se estudió en la presente tesis; se recomienda obtener otros resultados como: permeabilidad, durabilidad.

Recomendación N° 6.

Se recomienda utilizar en la capa de subrasante de la estructura de un pavimento 12% de ceniza de cascara de arroz + 5% de CAL.



Recomendación N° 7.

Se recomienda a la municipalidad de San Sebastián o a cualquier otra entidad que ejecute un proyecto similar; utilizar como estabilizador la ceniza de cascara de arroz en la Apv. Kari Grande Vía Rumi Wasi, porque en los estudios realizados se aumentó la capacidad de soporte del suelo.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agencia Agraria de noticias, A. (2013). Crecimiento del Arroz. *Agraria*, 1-2.
- Allauca, L., Amen, H., & Lung, J. (2009). Uso del silice en Hormigones de alto desempeño. (*Tesis de Grado*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Behak, L., & Perez Núñez, W. (2008). *Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación*. Santiago, Chile: Ingeniería de Construcción.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México: McGRAW-HILL.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Investigación Económica de Centroamérica.
- De la Pared Condo, D. (2013). *Estabilización del suelo mediante adiciones de ceniza de cascarilla de arroz*. Bogotá-Colombia: Universidad de los Andes.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, M. (2014). *Estabilización Química de Suelos- Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado*. Lima: MTC.
- Duque Escobar, G., & Escobar Portes, C. E. (2002). *Mecánica de Suelos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Duque-Escobar, G., & Enrique Escobar, C. (2016). *Mecánica de Suelos "Geomecánica"*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Fernández Loaiza, C. (1991). *Mejoramiento y Estabilización de Suelos*. México: Limusa.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.



- Hernandez-Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México, D.F: Limusa.
- Juárez Quevedo, B. M. (2012). La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados. (*Trabajo de graduación*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- La Asociación Nacional de Cal, N. (2006). Estabilización y Modificación con Cal. *Manual De Estabilización de Suelo Tratado con Cal / boletin 326*, 1-42.
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa.
- LLamoga Vásquez, L. Y. (2016). Evaluacion del Potencial de Expansión y Capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz. (*Tesis de Grado*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Manual de diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, M. (2008). *MTC/Dirección General de Caminos y Ferrocarriles*. Lima: MTC.
- Manual de Ensayo de Materiales, M. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales / Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Lima: MTC.
- Márquez Javier, J. (2006). *Mécanica de Suelos y Estudios Geotécnicos en Obras de Ingeniería*.
- Mata Montenegro, M. T. (2010). Guía Básica para la conformación de bases y subbases para carreteras en El Salvador. (*Tesis de Grado*). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos/ Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima: MTC.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.



MTC, M. d. (2014). *Manual de Carreteras: Suelo, Geología, Geotécnica y Pavimentos*. Lima: MTC.

Parra Olivares, J. (2003). *Guía de Muestreo*. Maracaibo: Maracaibo: Univeridad del Zulia.

Peña Sterling, C., & Euguez A., H. (2001). *Hormigón Celular con la utilización de Materiales Locales*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica.

Rodriguez Moguel, E. A. (2005). *Metodología de la Investigacion*. Tabasco: Universidad Juarez Autonoma de Tabasco.

Sierra Aguilar, J. (2009). Alternativas de Aprovechamiento de la Cascarilla de Arroz en Colombia. (*Monografía de Licenciatura*). Universidad de Sucre, Colombia.

Silva, A. (2011). *Determinando la población y la muestra*. Obtenido de <https://allanucatche.files.wordpress.com/2011/01/tipo-de-muestreo.pdf>

Varón Cemargo, J. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *El hombre y la máquina*, 128-135.



ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA



TEMA DE ESTUDIO: “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO OBTENIDO DE LA APV. KARI GRANDE VÍA RUMI WASI – SAN SEBASTIÁN UTILIZADO A NIVEL DE SUBRASANTE EN LA REGIÓN CUSCO, ESTABILIZADO CON CENIZA DE CASCARA DE ARROZ Y CAL EN PORCENTAJES 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; RESPECTIVAMENTE.”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<p>Problema general: ¿Cómo varían las propiedades Físico-Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar las propiedades Físico-Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.</p>	<p>Hipótesis General: Las propiedades Físico Mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco incrementaran al utilizar ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5%; respectivamente, con relación al agua de mezcla.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ceniza de Cascara de Arroz • Cal • Tipo de Suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • % del peso de sustitución de ceniza de cáscara de arroz por el agua de mezcla de la subrasante. • % del peso de sustitución de cal por el agua de mezcla de la subrasante. • Clasificación de suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de Laboratorio • Laboratorio • Fichas de recolección • Hojas de cálculo
<p>Problemas específicos:</p>	<p>Objetivos específicos:</p>	<p>Sub hipótesis:</p>	<p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p>	<p>INDICADORES</p>	<p>INSTRUMENTOS</p>
<p>1.- ¿Cómo varía el Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?</p>	<p>1.- Determinar la variación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.</p>	<p>1.- El suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal; tendrá mayor limite plástico, menor limite líquido y aumentara el índice de plasticidad según la adición de la ceniza de cascara de arroz y cal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Limite Liquido • Índice de Plasticidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de Limite Liquido (%) • Índice de Plasticidad (%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de Laboratorio • Fichas de recolección • Hojas de cálculo
<p>2.- ¿Cómo varia la Densidad Máxima y la Humedad Optima de suelo, del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?</p>	<p>2.- Analizar la variación de la densidad máxima y humedad optima de suelo, del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.</p>	<p>2.- La Densidad del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián, disminuirá mientras más se añade ceniza de cascara de arroz e incrementara en el contenido óptimo de agua al agregar más ceniza de cascara de arroz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad Máxima • Humedad Óptima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad Máxima (gr/cm3) • Humedad Óptima (%). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de Laboratorio • Fichas de recolección • Hojas de cálculo



<p>3.- ¿En qué medida influye la adición de ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente, en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco?</p>	<p>3.- Analizar comparativamente la ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente, en la Capacidad de Soporte (CBR) del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco.</p>	<p>3.- La Capacidad de Soporte CBR del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante aumentara más del 20% estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5% y 12%-5%, respectivamente.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de Soporte CBR	<ul style="list-style-type: none">• Valor de CBR (%).	<ul style="list-style-type: none">• Ensayos de Laboratorio• Fichas de recolección• Hojas de cálculo
<p>4.- ¿Cómo varia la Expansión del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco modificado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente?</p>	<p>4.- Evaluar la variación de la Expansión del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%; respectivamente.</p>	<p>4.- La Expansión del suelo obtenido de la Apv. Kari Grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante disminuirá progresivamente en el rango de 7%-5%, 12%-5% y 15%-5% de ceniza de cascara de arroz y cal respectivamente</p>	<ul style="list-style-type: none">• Expansión de Suelo.	<ul style="list-style-type: none">• Expansión (%)	<ul style="list-style-type: none">• Ensayos de Laboratorio• Fichas de recolección• Hojas de cálculo