



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO”

Presentado por Los Bachilleres:

Aguilar Paravicino, Hugo Orlando

Bravo Gutierrez, Juan Carlos

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Heber Darwin Gutiérrez Vallejo

CUSCO- PERÚ

2020



AGRADECIMIENTO

A nuestro señor Dios, por darme voluntad para continuar, que siempre guía mi camino y me acompaña en esta travesía, agradezco a la Universidad Andina del Cusco, mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por las cátedras necesarias para la formación de futuros ingenieros civiles y a mis amigos de por depositar su confianza en mí, por los buenos y malos momentos.

Hugo Orlando Aguilar Paravicino

A la Universidad Andina del Cusco por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesional, brindándonos una educación de calidad, tanto en conocimientos como en valores.

A nuestro asesor de tesis, Ing. Heber Gutierrez Vallejos, por aceptar conducir este trabajo de investigación, por su esfuerzo y dedicación, su experiencia, su paciencia y su motivación.

Y, de igual manera el agradecimiento profundo va para mi familia. Sin su apoyo, esfuerzo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta tarea.

Juan Carlos Bravo Gutiérrez



DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por darme una nueva oportunidad día a día, a mis padres Carlos Aguilar e Hilda Paravicino por el apoyo incondicional y la comprensión exacta, a mis hermanos Ricardo y Ernesto por los ánimos, disciplina y el carácter de perseverar para lograr los objetivos que me propongo, a mi círculo de amigos por los ánimos y enseñanzas de vida.

Hugo Orlando Aguilar Paravicino

A mi padre Juan Luis Bravo Montufar:

Por ser el ejemplo y el guía de mi camino, por inculcarme valores, estar siempre a mi lado y apoyarme en mi camino.

A mi madre Rene Gutierrez Vallejo:

Por darme la vida, por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional.

A mi hermano Juan Diego Bravo Gutierrez:

Por estar cuando lo necesitaba, por apoyarme cuando lo requería, por estar en los momentos cuando nadie más podía.

A mis docentes:

Por sus enseñanzas y aporte en mi formación universitaria, por su paciencia y apoyo permanente y por esas lecciones de vida que quedarán grabadas.

A mis amigos y amigas:

Que marcaron en mi vida universitaria, por su amistad, por tan buenos recuerdos, por sus consejos y sobre todo por brindarme su ayuda en los buenos y malos momentos.

Juan Carlos Bravo Gutiérrez



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar de qué manera influyen las cenizas de fondo en el proceso de estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub-rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, respetando los parámetros señalados por la Norma Técnica Peruana CE.010 (Pavimentos Urbanos), de esta manera implementar su uso como un material estabilizante alternativo en los suelos de las vías no pavimentadas de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco.

El presente trabajo de investigación tiene enfoque tipo cuantitativo, el nivel de investigación es de tipo correlacional y el método de investigación es hipotético deductivo. Se realizó una exploración de área a estudiar en el cual, con fines investigativos se estableció realizar 2 calicatas para poder extraer el material arcilloso.

Para la elaboración de la presente tesis se realizaron ensayos en el laboratorio como Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR, y cenizas de fondo de horno ladrillero en porcentajes de 30%, 40% y 50%, dichos ensayos fueron realizados en base a las normas MTC E-110, MTC E-111, MTC E-115, MTC E-132. Contrastando los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se observa que las muestras de suelo estabilizadas presentaron notables cambios favorables, en el caso de la calicata 1 al estabilizar el suelo arcilloso con ceniza de fondo al 30% presenta un CBR de 43,31%, de la misma manera al estabilizar el suelo arcilloso con ceniza de fondo al 40% presenta un CBR de 45.80% y en el caso de la adición de ceniza de fondo al 50% presenta un CBR de 49,12%. En el caso de la calicata 2 al estabilizar el suelo arcilloso con ceniza de fondo al 30% presenta un CBR de 28,46%, de la misma manera al estabilizar el suelo arcilloso con ceniza de fondo al 40% presenta un CBR de 42,14% y en el caso de la adición de ceniza de fondo al 50% presenta un CBR de 46,28% presentando a nivel de sub-rasante, las mejoras son significativas y cumple con los parámetros de la Norma Técnica Peruana CE.010 (Pavimentos Urbanos), por lo cual se concluye que la ceniza de fondo de horno ladrillero es un buen estabilizador, ya que mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso de manera óptima.

Palabras Clave: Ceniza de fondo, estabilización, arcilla, Proctor Modificado.



ABSTRACT

The objective of this present research work was to evaluate how bottom ashes influence the stabilization process of clayey soils at the subgrade level, from the bricklayer area of the district of San Jeronimo - Cusco, respecting the parameters indicated by the Peruvian technical standard CE.010 (urban pavements), In this way implement its use as an alternative stabilizing material in the floors of unpaved roads in the brick area of the district of San Jeronimo - Cusco.

The present research work has a quantitative approach, the research level is correlational and the research method is hypothetical-deductive. An exploration of the area to be studied was carried out in which, for research purposes, two calicates were made to extract the clay material.

For the preparation of this thesis tests were carried out in the laboratory as limits of Atterberg, modified proctor and CBR, and bottom ashes of brick kiln in percentages of 30%, 40% and 50%, these tests were performed based on standards MTC E-110, MTC E-111, MTC E-115, MTC E-132. Contrasting the results obtained from the laboratory tests, it is observed that the stabilized soil samples presented remarkable favorable changes. In the case of calicata 1, when stabilizing the clayey soil with 30% bottom ash, it presents a CBR of 43.31%. In the same way, when stabilizing the clayey soil with 40% bottom ash, it presents a CBR of 45.80% and in the case of adding 50% bottom ash, it presents a CBR of 49.12%. In the case of calicata 2, when stabilizing the clayey soil with 30% bottom ash, it presents a CBR of 28.46%. In the same way, when stabilizing the clayey soil with 40% bottom ash, it presents a CBR of 42.14%, and in the case of the addition of bottom ash to 50% presents a CBR of 46.28% presenting at subgrade level, the improvements are significant and complies with the parameters of the Peruvian technical standard CE.010 (urban pavements), for which it is concluded that the bottom ash of bricklaying oven is a good stabilizer, since it improves the properties of the clay soil optimally.

Key words: Background ash, stabilization, clay, modified proctor.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva como título “Evaluación de la ceniza de fondo para la estabilización de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco” y fue desarrollada en la rama de geotecnia, desarrollándose en la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, de donde se extrajo las muestras de suelo arcilloso y las muestras de ceniza de fondo de horno ladrillero para llevar a cabo nuestros ensayos.

La aplicación de la ceniza de fondo resulta ser una excelente opción medioambiental, a comparación del uso de aditivos químicos como son la cal y el cemento, además al reciclar la ceniza de fondo de los mismos hornos existentes reducimos la contaminación que es generada día a día y también disminuimos el coste económico en la estabilización.

En la presente investigación se decidió reciclar los residuos de ceniza de fondo de horno ladrillero, el cual fue añadido al suelo arcilloso que es común de encontrar en dicha zona, considerando que analizamos las propiedades físico-mecánicas, cabe resaltar que todos estos ensayos fueron realizados de acuerdo a las normas técnico Peruanas (NTP), manual de ensayos de materiales del (MTC), tenemos que resaltar que también se tomó como referencia las normas internacionales tales como la ASTM, y procedimientos encontrados en tesis antecesoras, que nos sirvieron como base y a la misma vez como manuales. Los diferentes ensayos los llevamos a cabo en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco (UAC).

Vale resaltar que el contenido del presente trabajo de investigación sigue el siguiente orden:

Capítulo I. Se hizo el planteamiento del problema, ubicación geográfica, ámbito de influencia teórica, descripción del problema, justificación de la investigación, formulación del problema y objetivos.

Capítulo II. Se realizó el marco teórico, antecedentes nacionales, antecedentes internacionales, bases teórico- científicas, hipótesis, variables e indicadores y cuadro de operacionalización de variables.



Capitulo III. Se encuentra la metodología, tipo, nivel y diseño de investigación de la tesis, población y muestra, técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos.

Capitulo IV. Se contempla los resultados del trabajo de campo con aplicación estadística, presentación de la prueba de hipótesis.

Capitulo V. Se hizo la contratación de los resultados del trabajo de campo con los referentes bibliográficos de las bases teóricas y contratación de la hipótesis general en base a la prueba de hipótesis.



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO II

DEDICATORIA III

RESUMEN IV

ABSTRACT V

INTRODUCCIÓN VI

ÍNDICE DE FIGURAS XII

ÍNDICE DE TABLAS XIV

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.1. Identificación del problema. 18

1.1.1. Descripción del problema. 18

1.1.2. Formulación del problema. 19

1.1.2.1. Formulación del problema general. 19

1.1.2.2. Problemas específicos. 19

1.2. Justificación e importancia de la investigación. 19

1.2.1. Justificación técnica. 19

1.2.2. Justificación social. 19

1.2.3. Justificación por vialidad. 20

1.2.4. Justificación por relevancia. 20

1.3. Limitaciones de la investigación. 20

1.3.1. Limitaciones de territorio. 20

1.3.2. Limitaciones con respecto a los materiales. 22

1.3.3. Limitaciones de recursos. 22

1.3.4. Limitaciones normativas. 23

1.3.5. Limitaciones económicas. 23

1.3.6. Limitaciones de tiempo. 23

1.4. Objetivo de la investigación. 24

1.4.1. Objetivo general. 24

1.4.2. Objetivos específicos. 24

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 26

2.1. Antecedentes. 26

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional 26

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional 28

2.2. Aspectos teóricos pertinentes. 30

2.2.1. Suelos Arcillosos 30



- 2.2.2. Suelo de San Jerónimo, Cusco- Perú.....30
- 2.2.3. Arcilla.....31
 - 2.2.3.1. Propiedades de las arcillas.....32
 - 2.2.3.2. Clasificación de las arcillas.....34
- 2.2.4. Ceniza.....35
 - 2.2.4.1. Origen y proceso de obtención de ceniza de horno ladrillero.....36
 - 2.2.4.2. Ceniza de Fondo.....37
 - 2.2.4.3. Morfología de la Ceniza de Fondo.....37
 - 2.2.4.4. Composición química de la Ceniza de Fondo.....38
- 2.2.5. Sub rasante de una vía.....38
- 2.2.6. Plasticidad de Suelos Arcillosos.....39
- 2.2.7. Contenido de Humedad Optimo de Suelos Arcillosos.....39
- 2.2.8. Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos.....40
- 2.2.9. Índice de CBR.....40
- 2.2.10. Estabilización de suelos.....40
 - 2.2.10.1. Estabilización de suelos arcillosos.....40
 - 2.2.10.2. Caracterización De Los Suelos Aptos Para La Estabilización.....41
 - 2.2.10.3. Métodos de estabilización de suelos.....41
- 2.2.11. Agentes estabilizantes.....42
 - 2.2.11.1. Propiedades geotécnicas que se mejoran.....43
- 2.2.12. Ensayo de Limites de Atterberg.....43
 - 2.2.12.1. Sistema Unificados de Clasificación de suelos (SUCS).....45
 - 2.2.12.2. Método AASHTO.....46
- 2.2.13. Ensayo Proctor. (MTC E116, 2016).....48
 - 2.2.13.1. Ensayo Proctor modificado. (MTC E115, 2016).....49
- 2.2.14. Ensayo CBR (Ratio de soporte de California). (MTC E132, 2016).....50
- 2.2.15. Ensayos físicos, cenizas de carbón provenientes de hornos de ladrilleras.....51
- 2.3. Hipótesis.....51
 - 2.3.1. Hipótesis general.....51
 - 2.3.2. Sub hipótesis.....51
- 2.4. Definición de variables.....51
 - 2.4.1. Variables independientes.....51
 - 2.4.1.1. Definición de variables independientes.....51
 - 2.4.1.2. Indicadores de las variables independientes.....52



- 2.4.2. Variables dependientes52
 - 2.4.2.1. Indicadores de las variables dependientes.....52
 - 2.4.2.2. Indicadores de la variable dependiente.....53
- 2.4.3. Operacionalización de variables.54
- 3.1. Metodología de la investigación.....56
 - 3.1.1. Enfoque de la investigación.56
 - 3.1.2. Nivel de la investigación.56
 - 3.1.3. Método de la investigación.56
- 3.2. Diseño de la investigación.57
 - 3.2.1. Diseño metodológico.....57
 - 3.2.2. Diseño de ingeniería.....58
- 3.3. Población y muestra.59
 - 3.3.1. Población.....59
 - 3.3.1.1. Descripción de la población.....59
 - 3.3.1.2. Cuantificación de la población.....59
 - 3.3.2. Muestra.....59
 - 3.3.2.1. Descripción de la muestra.59
 - 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.59
 - 3.3.2.3. Método de muestreo.....59
 - 3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra.60
 - 3.3.3. Criterios de inclusión.....60
- 3.4. Instrumentos.....61
 - 3.4.1. Instrumentos Metodológicos.61
 - 3.4.1.1. Instrumento de Recolección de datos para clasificación de suelos61
 - 3.4.1.2. Instrumento de Recolección de datos para ensayo de Contenido de Humedad65
 - 3.4.1.3. Instrumento de Recolección de datos para ensayo de Limite Liquido y Limite Pastico.66
 - 3.4.1.4. Instrumento de Recolección de datos para Ensayo de Proctor67
 - 3.4.1.5. Instrumento de Recolección de datos para Ensayo de CBR.....68
 - 3.4.2. Instrumentos de ingeniería.71
- 3.5. Procedimientos de Recolección de datos74
 - 3.5.1. Clasificación SUCS.....74
 - 3.5.2. Método AASHTO75
 - 3.5.3. Determinación de Limite Liquido (MTC E 110)76
 - 3.5.4. Determinación de Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) (MTC E 111).81



3.5.5.	Ensayo de Compactación - Proctor Modificado, método "A" (MTC E 115).....	86
3.5.6.	Ensayo de CBR de suelos en Laboratorio (MTC E 132).....	92
3.6.	Procedimiento de Análisis de Datos.	104
3.6.1.	Clasificación de Suelos.....	104
3.6.2.	Límite Líquido.	107
3.6.2.4.	Análisis de Prueba.	117
3.6.3.	Límite Plástico.	117
3.6.3.1.	Procesamiento y Cálculos.....	117
3.6.3.2.	Análisis de Prueba.	119
3.6.3.3.	Procesamiento y Cálculos.....	120
3.6.3.4.	Análisis de Prueba.	122
3.6.4.	Índice de plasticidad.....	122
3.6.4.1.	Procesamiento y Cálculos.....	122
3.6.4.2.	Análisis de prueba.	123
3.6.5.	Proctor Modificado.....	124
3.6.5.1.	Procesamiento y Cálculos.....	124
3.6.5.1.1.	Análisis de Prueba.	125
3.6.5.1.2.	Análisis de Prueba.	127
3.6.5.1.3.	Análisis de Prueba.	129
3.6.5.1.4.	Análisis de Prueba.	131
3.6.5.1.5.	Análisis de Prueba.	133
3.6.5.2.	Procesamiento y Cálculos.....	133
3.6.5.2.1.	Análisis de Prueba.	134
3.6.5.2.2.	Análisis de Prueba.	136
3.6.5.2.3.	Análisis de Prueba.	138
3.6.5.2.4.	Análisis de Prueba.	140
3.6.5.2.5.	Análisis de Prueba.	142
3.6.6.	Ensayo CBR.	143
3.6.6.1.	Procesamiento y Cálculos.....	143
3.6.6.2.	Procesamiento y Cálculos de CBR.....	157
3.6.7.	Costos estimados.....	171
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS.	175
5.	CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	184
6.	GLOSARIO.....	185



7.	CONCLUSIONES.	187
8.	RECOMENDACIONES.	190
9.	BIBLIOGRAFIA.	192
10.	ANEXOS.....	194

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Desestabilización de suelo en la Zona Ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Elaboración Propia).....	18
FIGURA 2	Ubicación de Calicatas (C- 1 & C- 2) en la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Mapa departamental del Cusco y sus provincias e imagen de Google Earth).	21
FIGURA 3	Ubicación del horno donde se extrajeron las cenizas en la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Elaboración Propia).....	22
FIGURA 4	Micrografía de SEM de muestra de Ceniza de Carbón. (Elaboración Morales Zuluaga D. 2015).....	37
FIGURA 5	Cuchara de Casa Grande. (Elaboración Propia).	44
FIGURA 6	Carta de Plasticidad. (MTC 2016).	46
FIGURA 7	Cuadro SUCS. (MTC 2016).	46
FIGURA 8	Cuadro de Clasificación de Suelos AASHTO. (MTC 2016).	47
FIGURA 9	Características de los Suelos – Según AASHTO (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)....	48
FIGURA 10	Molde cilíndrico de 4”. (MTC 2016).....	49
FIGURA 11	Cuadro resumen. (Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012).	49
FIGURA 13	Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 01. (Elaboración Propia).	71
FIGURA 14	Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 02. (Elaboración Propia).	71
FIGURA 15	Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 03. (Elaboración Propia).	72
FIGURA 16	Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 03. (Elaboración Propia).	72
FIGURA 17	Instrumentos para ensayo de Proctor 01. (Elaboración Propia).....	72
FIGURA 18	Instrumentos para ensayo de Proctor 02. (Elaboración Propia).....	73
FIGURA 19	Instrumentos para ensayo de Proctor 03. (Elaboración Propia).....	73
FIGURA 20	Instrumentos para ensayo de CBR de Laboratorio 01. (Elaboración Propia).....	73
FIGURA 21	Carta de Plasticidad de Casagrande. (Braja 2006, pag.15).	75
FIGURA 22	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (Braja 2006, pag.15).	75
FIGURA 23	Herramientas de Ensayo de LL 01. (Elaboración Propia).	77
FIGURA 24	Herramientas de Ensayo de LL 02. (Elaboración Propia).	77
FIGURA 25	Procedimiento limite liquido (LL) 01. (Elaboración Propia).	79
FIGURA 26	Procedimiento limite liquido (LL) 02. (Elaboración Propia).	79
FIGURA 27	Herramientas de Ensayo de LP. (Elaboración Propia).....	82
FIGURA 28	Procedimiento limite Plástico (LP) 01. (Elaboración Propia).....	83
FIGURA 29	Procedimiento limite Plástico (LP) 02. (Elaboración Propia).....	84
FIGURA 30	Herramientas de Proctor Modificado 01. (Elaboración Propia).....	87
FIGURA 31	Herramientas de Proctor Modificado 02. (Elaboración Propia).....	87
FIGURA 32	Procedimiento de Proctor Modificado 01. (Elaboración Propia).	88
FIGURA 33	Procedimiento de Proctor Modificado 02. (Elaboración Propia).....	89



FIGURA 34 Procedimiento de Proctor Modificado 03. (Elaboración Propia).89

FIGURA 35 Herramientas de CBR 01. (Elaboración Propia).93

FIGURA 36 Herramientas de CBR 02. Elaboración Propia).93

FIGURA 37 Ubicación de los suelos en la Carta de Plasticidad de Casagrande. (Elaboración Propia). 105

FIGURA 38 Ubicación de los suelos para la Clasificación según SUCS. (Elaboración Propia).105

FIGURA 39 Ubicación de los suelos para la Clasificación según AASTHO. (Elaboración Propia).106

FIGURA 40 Resultado índice de plasticidad calicata 01 (Elaboración Propia).177

FIGURA 41 Resultado índice de plasticidad calicata 01 (Elaboración Propia).178

FIGURA 42 Resultado de contenido de humedad opimo de la calicata 01 (elaboración propia)179

FIGURA 43 Resultado de contenido de humedad opimo de la calicata 02 (elaboración propia)179

FIGURA 44 Resultado de máxima densidad seca de la calicata 01 (elaboración propia)180

FIGURA 45 Resultado de máxima densidad seca de la calicata 02 (elaboración propia)181

FIGURA 46 Resultado de CBR de la calicata 01 (elaboración propia)181

FIGURA 47 Resultado de CBR de la calicata 02 (elaboración propia).182

FIGURA 48 Resumen de resultados de índice de plasticidad de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).188

FIGURA 49 Resumen de resultados de Contenido de Humedad Optimo de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).189

FIGURA 50 Resumen de resultados de Densidad Máxima Seca de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).189

Figura 51 Resumen de resultados de CBR de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).190

FIGURA 52 Carretera donde se encuentran las calicatas de la Zona ladrillera. (Elaboración Propia). 195

FIGURA 53 Recolección de suelos arcillosos de la calicata 1. (Elaboración Propia).195

FIGURA 54 Recolección de suelos arcillosos de la calicata 2. (Elaboración Propia).195

FIGURA 55 Recolección de ceniza de fondo de hornos ladrilleros. (Elaboración Propia).195

FIGURA 56 Elaboración del laboratorio “Contenido de Humedad” de los suelos 1 y 2. (Elaboración Propia).195

FIGURA 57 Elaboración del laboratorio “Limites de Atterberg” de los suelos 1 y 2. (Elaboración Propia).195

FIGURA 58 Elaboración del laboratorio “Proctor Modificado” de los suelos 1 y 2. (Elaboración Propia).195

FIGURA 59 Elaboración del laboratorio “CBR” de los suelos 1 y 2. (Elaboración Propia).195



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación geográfica.....	21
Tabla 2 Ensayos a realizar.....	23
Tabla 3 Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM.....	31
Tabla 4: Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM.	32
Tabla 5 Superficies específicas en algunas arcillas.	32
Tabla 6 Clasificación de las arcillas de acuerdo a los filosilicatos.	34
Tabla 7 Composición química de óxidos en PPM y porcentajes de Ceniza de Carbón.	38
Tabla 8 Categoría de sub rasante.	39
Tabla 9 Valores de Carga Unitaria a utilizarse en la ecuación de CBR.	50
Tabla 10 Criterios de evaluación de muestra por Calicata.....	60
Tabla 28 Datos correspondientes a la calicata 01 (C – 1).	74
Tabla 29 Datos correspondientes a la calicata 02 (C – 2).	74
Tabla 30 Datos correspondientes a la calicata 01 & 02 (C - 1; C – 2).....	76
Tabla 12 Datos de la calicata 01 (Lim. Líquido) Suelo Solo.	79
Tabla 13 Datos de la calicata 01 (Lim. Líquido) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	80
Tabla 14 Datos de la calicata 01 (Lim. Líquido) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....	80
Tabla 15 Datos de la calicata 01 (Lim. Líquido) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....	80
Tabla 16 Datos de la calicata 02 (Lim. Líquido) Suelo Solo.	80
Tabla 17 Datos de la calicata 02 (Lim. Líquido) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	81
Tabla 18 Datos de la calicata 02 (Lim. Líquido) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....	81
Tabla 19 Datos de la calicata 02 (Lim. Líquido) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....	81
Tabla 20 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo Solo.....	84
Tabla 21 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.	84
Tabla 22 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.	84
Tabla 23 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.	85
Tabla 24 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo Solo.....	85
Tabla 25 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.	85
Tabla 26 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.	85
Tabla 27 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.	86
Tabla 31 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo Solo.	89
Tabla 32 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	90
Tabla 33 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....	90
Tabla 34 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....	90
Tabla 35 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo Solo.	91
Tabla 36 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	91
Tabla 37 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....	91
Tabla 38 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....	92
Tabla 39 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo Solo.	96
Tabla 40 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	97
Tabla 41 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....	98
Tabla 42 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....	99
Tabla 43 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo Solo.	100
Tabla 44 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....	101



Tabla 45 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....102

Tabla 46 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....103

Tabla 47 Clasificación de Suelo de la calicata 01104

Tabla 48 Clasificación de Suelo de la calicata 02104

Tabla 49 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo Solo.107

Tabla 50 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.108

Tabla 51 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.109

Tabla 52 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.110

Tabla 53 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.111

Tabla 54 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo Solo.112

Tabla 55 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.113

Tabla 56 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.114

Tabla 57 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.115

Tabla 58 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.116

Tabla 59 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo Solo.117

Tabla 60 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....117

Tabla 61 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....118

Tabla 62 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....118

Tabla 63 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.119

Tabla 64 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo Solo.120

Tabla 65 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....120

Tabla 66 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....121

Tabla 67 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....121

Tabla 68 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.122

Tabla 69 Comparativa de resultados del Índice de Plasticidad de la Calicata 01.....123

Tabla 70 Comparativa de resultados del Índice de Plasticidad de la Calicata 02.....123

Tabla 71 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo Solo.124

Tabla 72 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....126

Tabla 73 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....128

Tabla 74 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....130

Tabla 75 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.132

Tabla 76 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo Solo.133

Tabla 77 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....135

Tabla 78 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....137

Tabla 79 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....139

Tabla 80 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.141

Tabla 81 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo Solo.....143

Tabla 82 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....146

Tabla 83 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....149

Tabla 84 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....152

Tabla 85 Comparativa de los resultados del ensayo de CBR de la calicata 1155

Tabla 86 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo Solo.157

Tabla 87 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.....160

Tabla 88 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.....163

Tabla 89 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.....166



Tabla 90 Comparativa de los resultados del ensayo de CBR de la calicata 2.169

Tabla 91 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 30%.....171

Tabla 92 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 40%.....171

Tabla 93 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 50%.....172

Tabla 94 Variación en Costo en función a la dosificación de Ceniza de fondo de Horno Ladrillero....172



CAPÍTULO I

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

En la actualidad a nivel mundial, la construcción de carreteras es uno de los procesos con mayor impacto dentro de las obras de infraestructura, además considerando que los Gobiernos dan gran importancia a la construcción de carreteras asfaltadas, así como afirmadas, siendo estas últimas un 34.7% según el MTC.

La tesis, básicamente se desarrolla en la Zona Ladrillera ubicado en el distrito de San Jerónimo, provincia del Cusco, departamento del Cusco.

En el lugar del ámbito del proyecto predominan los suelos arcillosos según (Centro Guaman poma de Ayala, 2005), donde sus propiedades fundamentales son de poseer elevado índice de plasticidad y baja capacidad de soporte ante los esfuerzos que se generan por el paso de los vehículos.

En la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo al momento de realizar el reconocimiento del lugar, pudimos apreciar que el terreno se encuentra en mal estado, presentando fisuras y deslizamientos, además que algunas vías de acceso no se le da un adecuado mantenimiento y tienden a deteriorarse por las lluvias y otros factores, por ese motivo se necesita un suelo que tenga mejores propiedades físico-mecánicas, para así aportar una mayor capacidad de soporte ante los esfuerzos que se generan por los vehículos que circulen por la vía.



FIGURA 1 Desestabilización de suelo en la Zona Ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Elaboración Propia).



1.1.2. Formulación del problema.

1.1.2.1. Formulación del problema general.

¿Cómo influye la adición de cenizas de fondo en el proceso de estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub- rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco?

1.1.2.2. Problemas específicos.

1. ¿Cómo influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en el índice de plasticidad de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco?
2. ¿Cómo influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco?
3. ¿Cómo influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en la capacidad de soporte de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco?

1.2. Justificación e importancia de la investigación.

1.2.1. Justificación técnica.

Para el desarrollo de la presente investigación se hace uso de la información y aspectos teóricos revisados en la formación de pre-grado, puntualmente de la especialidad de geotecnia; manejando conceptos de mecánica de suelos y el uso de equipos de laboratorio de este mismo para los diferentes ensayos que posteriormente llevaremos a cabo. La investigación permite conocer el comportamiento del suelo proveniente de la zona ladrillera del distrito San Jerónimo - Cusco, al ser estabilizado con ceniza de fondo, el cual es contrastado con la norma técnica peruana (NTP) E.050 y experiencias previas mencionadas en los antecedentes bibliográficos para la aplicación y uso.

1.2.2. Justificación social.

Los primeros beneficiados con la presente investigación serán pobladores de la zona Ladrillera del distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco, ya que tendrán una



nueva alternativa para estabilizar sus vías de acceso de una manera más económica y ecológica respecto a las convencionales, considerando que las cenizas serán extraídas del mismo lugar donde se generan, aminorando los gastos de recolección, traslado e implementación, mejorando la calidad de vida de los pobladores.

Los siguientes beneficiados serán los Ingenieros proyectistas que quieran aplicar la tesis en posteriores proyectos de ingeniería, del mismo modo los alumnos de ingeniería civil de la Universidad Andina del Cusco, puesto que contarán con una referencia bibliográfica de la estabilización de suelos arcillosos con ceniza de fondo de horno ladrillero, destacando que este es un método poco convencional a nivel regional.

1.2.3. Justificación por vialidad.

El tiempo el cual toman los ensayos necesarios son prudentes, la disponibilidad de los equipos y de laboratorio, los cuales nos lo brinda la Universidad Andina del Cusco, los tesisistas harán uso de recursos financieros y de tiempo para el desarrollo eficaz del presente trabajo de investigación, además podemos agregar que la aplicación de este método de estabilización ha sido utilizada en otros lugares con resultados óptimos.

1.2.4. Justificación por relevancia.

La presente investigación nos permitirá evaluar una alternativa poco convencional, económica y ecológica para la estabilización de suelos arcillosos y de esta manera mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelos arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco, Según PRAL (2009) Anualmente se generan 6.900 toneladas de ceniza de fondo en Cusco, y estas mismas al no recibir un adecuado proceso de recolección y eliminación, son dispersados por los vientos contaminando aire, agua, así como los cultivos existentes en la zona.

1.3. Limitaciones de la investigación.

1.3.1. Limitaciones de territorio.

Entendemos como limitación de territorio a la zona donde realizaremos el trabajo de investigación, siendo esta: La zona Ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.



FIGURA 2 Ubicación de Calicatas (C- 1 & C- 2) en la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Mapa departamental del Cusco y sus provincias e imagen de Google Earth).

Tabla 1 Ubicación geográfica.

UBICACION GEOGRAFICA	
Región	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	San Jerónimo
Calicata 01 (C - 1)	13° 33' 27.94"S
	71°53' 46.62"O
Calicata 02 (C - 2)	13°33' 27.66"S
	71°53' 48.99"O

Fuente: Elaboración Propia

Las cenizas de fondo fueron extraídas del horno ladrillero propiedad del Sr. Gregorio Sánchez, ubicado en la vía principal de la zona ladrillera de San Jerónimo - Cusco.



FIGURA 3 Ubicación del horno donde se extrajeron las cenizas en la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. (Elaboración Propia).

1.3.2. Limitaciones con respecto a los materiales.

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, utilizamos los siguientes materiales:

- Ceniza de fondo de horno ladrillero artesanal.
- Muestras de suelos provenientes de la zona Ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.

1.3.3. Limitaciones de recursos.

Comprendemos por limitación de recursos, a la disponibilidad de laboratorios y aparatos necesarios para llevar a cabo la presente investigación, para la elaboración de la presente tesis se usó el laboratorio de mecánica de suelos y mecánica de pavimentos de la Universidad Andina del Cusco.



Los aparatos necesarios están representados en la siguiente tabla:

Tabla 2 Ensayos a realizar.

ENSAYOS A REALIZAR		Disponibilidad del Equipo	
		SI	NO
Muestreo de suelos.		X	
Reducir muestras a tamaño de muestreo.		X	
Clasificación de suelos.	SUCS	X	
	AASHTO.	X	
Ensayo de Límites de Atterberg	Límite Líquido.	X	
	Límite Plástico.	X	
	Índice de Plasticidad.	X	
Ensayo de Proctor.		X	
Ensayo de CBR en laboratorio.		X	

Fuente: Elaboración Propia

1.3.4. Limitaciones normativas.

Los ensayos de la presente investigación son enmarcados dentro de la Normativa Técnica Peruana (NTP), Normas Internacionales (AASHTO), además de emplear procedimientos desarrollados en tesis antecesoras.

1.3.5. Limitaciones económicas.

La presente investigación se limitó al financiamiento por parte de los tesisistas, utilizando recursos propios, así como de la Universidad Andina de Cusco.

1.3.6. Limitaciones de tiempo.

La extracción de muestras y la preparación de las mismas se realizaron en el mes de septiembre del 2019; la realización de ensayos, toma de datos y procesamiento de estos mismos se realizaron en los meses de noviembre y diciembre del 2019.



1.4. Objetivo de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar cómo influye la adición de cenizas de fondo en el proceso de estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub- rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos.

1. Determinar de qué manera influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en el índice de plasticidad de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.
2. Determinar de qué manera influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.
3. Determinar de qué manera influye la adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% en la capacidad de soporte de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.



CAPITULO II



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

- **Tesis: “CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR EL SUELO DE LA VIA CASCAJAL CON ADICION DE CARBÓN Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE”. Vásquez Cabrera, Alexander Mauricio. Universidad San Pedro, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Chimbote- Perú, 2018.**

La vía Cascajal Km15 a Km16 ubicada en la provincia del Santa - Ancash se caracteriza por ser de un suelo agrícola, el cual demanda de un mejoramiento en sus carreteras para poder ejecutarse una pavimentación de sus calles, por ello se centró nuestro objetivo en evaluar el efecto del carbón mineral y la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo limoso para el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados.

El carbón mineral que se utilizó en esta tesis corresponde a un producto extraído de la cantera “La Galgada”, el cual activamos mecánicamente para reducir el tamaño de la piedra y de tal manera pueda mezclarse con el suelo y la cal. Se trabajó con porcentajes de 7% de carbón mineral y 4% de cal, en peso de la muestra de suelo a evaluar ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados con el control de los técnicos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

Se obtuvo que las calicatas N°01, N°02 y N°03 tienen un tipo de suelo limoso(A-4) según su clasificación AASHTO y su correlación en la clasificación SUCS es del tipo ML (Limo baja plasticidad arenosa). Se realizó el California Bearing Ratio(CBR) para las tres calicatas obteniendo un valor de CBR Patrón al 100% de 16.2% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 29.0% en la calicata N°01, en la calicata N°02 se obtuvo un valor de CBR Patrón al 100% de 15.4% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 35.3% y en la calicata N°03 se obtuvo un valor de CBR Patrón al 100% de 14.0% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 32.2%.

La adición de 7% de carbón y 4% de cal, logra estabilizar el suelo limoso de la sub rasante de la Vía Cascajal Km15 a Km16.



- **Tesis: “EVALUACION DE LAS CENIZAS DE CARBON PARA LA ESTABILIZACION DE SUELOS MEDIANTE ACTIVACION ALCALINA Y APLICACIÓN EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS”. Cubas Benavides, Kevin & Falen Chavez, José Carlos. Universidad Señor de Sipan, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Chiclayo- Perú, 2016.**

En los últimos años, ha habido un gran incremento en el estudio de las cenizas de carbón, en países desarrollados alcanza en los últimos años un gran auge debido al crecimiento registrado en la producción de energía eléctrica vía carbón. El objetivo es evaluar las cenizas de carbón proveniente de ladrilleras lambayecanas mediante activación alcalina como estabilizante de suelos en carreteras no pavimentadas. En la tesis, se presentaron y analizaron efectos logrados con los ensayos Proctor estándar y deformaciones unitarias de suelos de Pimentel y Lambayeque. Las muestras obtenidas por la elaboración de calicatas fueron adicionadas con ceniza de carbón en porcentajes de 7%, 14% y 21%, fallados y curados en diferentes tipos de ambiente y por 7 días.

Mediante el software de análisis estadístico Minitab se comprobaron los efectos para asemejar los factores que más influyen sobre la variable de respuesta en cada uno de las muestras obtenidas por cada punto señalado. Se efectuará un balance entre 3 ensayos para los 3 tipos de muestra, los resultados obtenidos por los diferentes tipos de suelo y las dosis de ceniza de carbón manejadas en el estudio, además del predominio del hidróxido de sodio como activador alcalino. Se concluye que las cenizas de carbón mediante activación alcalina mejoran la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas, por lo tanto, es recomendable utilizar las cenizas de carbón muestra 2 en suelos con características SP-SC, la muestra 2 al con adiciones de 14% e hidróxido de sodio en 8M en suelos arcillosos para conseguir mejores resultados, ya que se expresó y demostró adquirir más rigidez con el tratamiento y utilizar solo cenizas de carbón de la muestra 2 con adiciones de 21% para mejorar suelos de características de arenas finas.



2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

- **Tesis: “VALORACIÓN DE LAS CENIZAS DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ACTIVACIÓN ALCALINA Y SU USO EN VÍAS NO PAVIMENTADAS.” Daniel Morales Zuluaga. Universidad de Medellín Facultad de Ingenierías. Medellín, 2015.**

En Colombia la red vial terciaria está constituida en material de afirmado y se encuentra en un estado crítico por falta de mantenimiento debido a los bajos recursos de inversión para la infraestructura vial.

La ceniza de carbón es uno de los mayores residuos generados por las industrias, por lo que se cuenta con una gran cantidad de este material para su disposición. Este residuo ha demostrado poseer propiedades puzolánicas mediante una activación alcalina; es por esta razón, que se hizo necesario la realización de este trabajo con el objetivo de evaluar, estimar y determinar el comportamiento mecánico de las cenizas de carbón como estabilizante de suelos y evaluar su capacidad para resistir las cargas transmitidas por los vehículos.

Se analizó el efecto que tiene una ceniza de carbón activada alcalinamente en diferentes tipos de suelos mediante el ensayo de resistencia a la compresión no confinada (UCS, por sus siglas en inglés).

En el documento, se presentan y analizan los resultados obtenidos en los ensayos Proctor Modificado y UCS de suelos de arcilla, arenilla y además un suelo representativo de la vía de estudio en el proyecto Red INNOVIAL del Municipio de Urrao, el cual se denomina “Urrao”.

Todos los suelos fueron adicionados con ceniza de carbón en porcentajes de 7%, 14% y 21%, fallados y curados a la edad de 7 días.

Mediante el análisis estadístico se analizaron los resultados para identificar los factores que más influyen sobre la variable respuesta en cada uno de los suelos. Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos por los diferentes tipos de suelo y las dosificaciones de ceniza de carbón utilizadas en el estudio, además de la influencia del tipo de activador alcalino que se utilizó. Para que CC obtenga una resistencia mínima comparada con la norma INVIAS Artículo - 350.4.1. la ceniza de



carbón para mezclarse con los suelos de arenilla, arcilla y Urrao debe ser tamizada por malla N°100 o mayor y usar hidróxido de sodio en solución como activador alcalino a una concentración cercana a 8 MOLAR, también se pudo concluir que el factor de mayor influencia en la resistencia a la compresión fue la concentración del hidróxido de sodio, debido a que la molaridad utilizada no era suficiente para lograr un buen material cementante.

- **Tesis: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS FINOS Y ARCILLOSOS COMBINADOS CON CENIZAS DE CARBÓN" Edwin Santiago Cañar Tiviano. Universidad Técnica de Ambato facultad de Ingeniería Civil y Mecánica carrera de Ingeniería Civil. Ambato – Ecuador 2017.**

El presente proyecto experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, tiene como objetivo la estabilización de dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de un aditivo como es el caso de cenizas de carbón y la evaluación de la capacidad de soporte y la resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio. Previo a los trabajos de laboratorio se realizó un reconocimiento visual para conocer la ubicación y la extracción de los suelos pertenecientes a los cantones de Ambato y Puyo, una vez identificada su ubicación se procedió a la recolección de muestras para la realización de ensayos como: granulometría y límites de Atterberg para la identificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Para determinar la capacidad de soporte (CBR) de cada suelo, se procedió mediante el ensayo de compactación o Próctor Modificado el cual dió como resultado la densidad máxima seca y la humedad óptima para luego realizar el ensayo CBR, el mismo procedimiento se realizó para las combinaciones en tres porcentajes de 20, 23 y 25% de cenizas de carbón. Para la determinación de la resistencia al corte se ejecutó el ensayo de compresión no confinada en los suelos conocidos como cangahua y arcilla de alta plasticidad. El análisis comparativo se refiere a una evaluación de propiedades como la humedad, plasticidad, resistencia CBR y resistencia al corte de forma estadística entre los dos suelos y sus diferentes combinaciones respectivamente, analizando detalladamente las ventajas y desventajas de la utilización de cenizas de carbón para mejorar las propiedades naturales y su uso como una sub-rasante.



Los resultados de ensayos CBR en suelos arenosos finos presenta un aumento del 4.6% al combinarlos con el 25% de cenizas de carbón, mejorando el porcentaje de la resistencia que va desde el 15.0% hasta el 19,60%, indicando que se puede utilizar como una sub-rasante.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes.

2.2.1. Suelos Arcillosos

Muchos de los suelos arcillosos se hallan en zonas de alta precipitación, presentando deficiencias en el drenaje, este suelo se caracteriza por su alto contenido de agua y su baja resistencia in situ.

Los suelos arcillosos cuando experimentan cambios de humedad tienden a presentar cambios de volumen.

La constitución del suelo arcilloso es por los siguientes minerales activos como la montmorillonita en grandes proporciones y en pocas proporciones o casi nulas la clorita y la vermiculita. Y los minerales que no se consideran activas son las caolinitas y las illitas, éstos sin embargo pueden contribuir a las propiedades expansivas de los suelos siempre y cuando se encuentren en cantidades apreciables. Existen propiedades físicas que influyen al cambio volumétrico y tienen incidencia tanto en sitio como en el laboratorio, Cubas Benavides, Kevin & Falen Chavez, Jose Carlos, (2016).

2.2.2. Suelo de San Jerónimo, Cusco- Perú

Según (Centro Guamán Poma de Ayala, 2005), el Grupo San Jerónimo (capas rojas), están conformados por las formaciones Kayra y Soncco. La formación Kayra tiene una superficie de afloramiento de 12,157.21 ha y un espesor de 3000 m, mientras que la formación Soncco tiene un área de 5, 750.12 ha y 1 ,500 m de espesor. Estas formaciones se presentan ampliamente al Sur y Norte de San Jerónimo y Lucre, prolongándose hasta Andahuaylillas. Están constituidas por areniscas intercaladas con lutitas rojas, y microconglomerados. Esta unidad es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino también por constituir el principal acuífero de la cuenca. Además, son rocas muy favorables para las obras civiles. Hay evidencias de mantos de cobre y plata en las areniscas, muchas de las cuales han sido explotadas artesanalmente, como en la

mina Uspha, al Sur de San Jerónimo.

La Formación San Sebastián aflora al sur de San Jerónimo con una extensión de 855.15 ha. Litológicamente está conformada por arenas, arcillas, diatomitas lacustres y gravas, haciendo un total de 100m de espesor. Las arcillas y arenas finas constituyen la materia prima para la fabricación de tejas y ladrillos. Las diatomitas pueden ser explotadas ya que tienen varios usos comerciales.

2.2.3. Arcilla.

Extrayendo el concepto de (Badillo & Rodríguez, 2005), la arcilla, es el producto final de la descomposición química de numerosos minerales (de aluminio y principalmente silicatos) que se encuentran en las rocas ígneas. Presentan diversas coloraciones dependiendo de su cantidad de impurezas. Físicamente se consideran partículas extremadamente pequeñas y de superficie lisa, el diámetro de la partícula de arcilla es inferior a 0.002mm.

Las dimensiones de sus partículas de acuerdo a la norma: Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM D422), se puede observar en la tabla 4. Su índice de plasticidad para característica de un suelo arcilloso se observa en la tabla 3.

Su peso específico varía entre los límites de 2,60 a 2,75 gramos por centímetro cúbico. Mientras más denso es el suelo es más sólido, por lo tanto, presenta alta resistencia a la erosión.

Tabla 3 Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP>20	Suelos muy arcillosos
20>IP>10	Suelos arcillosos
10>IP>4	Suelos poco arcillosos
IP=0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: MTC (2016)

Tabla 4: Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM.

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE PARTÍCULAS
Grava	75 mm - 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm - 0.2 mm
	Arena fina: 0.2 mm - 0.05 mm
Limo	0.05 mm - 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: MTC (2016)

2.2.3.1. Propiedades de las arcillas

Según (García Romero & Suarez Barrios, 2005) Las principales propiedades de las arcillas son:

- a) **Superficie específica:** Se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en caso de que exista) de las partículas constituyentes. Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante en la interacción sólido-fluido.

Tabla 5 Superficies específicas en algunas arcillas.

Tipo de Arcilla	Superficie Específica (m ² /g)
Caolinita de alta cristalinidad	15
Caolinita de baja cristalinidad	50
Halloisita	60
Illita	50
Montmorillonita	80-300
Sepiolita	100-240
Paligorskita	100-200

Fuente: (García Romero & Suárez Barrios)



- b) Capacidad de Absorción:** Está directamente ligada con la textura (superficie específica y porosidad). Aquí se puede hablar de dos procesos físicos que se dan de forma aislada:
- El proceso de **absorción**, que es aquel proceso fundamentalmente físico como la retención por capilaridad.
 - El proceso de **adsorción**, que es aquel en el cual hay cierto tipo de interacción química entre la arcilla (en este caso) y el líquido adsorbido.
- c) Hidratación e hinchamiento:** El hinchamiento se da como consecuencia de la absorción de agua en el espacio interlaminar que genera la separación de las láminas. Esto se puede explicar de la siguiente forma: a medida que el agua penetra y las láminas se separan más entre sí, se generan fuerzas electrostáticas de repulsión entre las láminas, lo cual a la vez contribuye al proceso de hinchamiento logrando disociar unas láminas de otras a veces completamente.
- d) Plasticidad:** Ésta es la principal característica de este tipo de suelos, y principalmente es debido a la forma de la partícula y el tamaño de grano. La proporción agua - arcilla es de importancia ya que el agua va a lubricar las láminas causando el deslizamiento de éstas, esto se da cuando hay un esfuerzo generado por una carga mayormente.
- e) Tixotropía:** Esta propiedad se define como la pérdida de resistencia al amasarla, con su posterior recuperación con el tiempo. Aquellas arcillas que poseen esta propiedad al ser amasadas se convierten en líquido, al dejarlas luego en reposo, recuperarán su cohesión, así como su comportamiento sólido; para que muestre su comportamiento tixotrópico debe tener cierto porcentaje de agua con el cual se aproxima a su límite líquido. Muy por el contrario, cuando este porcentaje de agua llega al nivel que se requiere para acercarse al límite plástico, la arcilla no tendrá la oportunidad de presentar su comportamiento tixotrópico.

2.2.3.2. Clasificación de las arcillas.

a) En función de su Volumen.

Como lo indica (Cruz López, 2001) menciona la Clasificación del M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) que muestra la siguiente clasificación para las arcillas.

- Gruesas : 0.002 a 0.0006mm.
- Mediana : 0.0006 a 0.0002mm.
- Fina (Coloides) : menores a 0.0002mm.

b) En función a los Filosilicatos

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos. Como puede verse pertenecen a los filosilicatos grupos de minerales tan importantes como las micas y las arcillas.

Tabla 6 Clasificación de las arcillas de acuerdo a los filosilicatos.

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS	
BILAMINARES 1:1		Caolinita		Antigorita
	Canditas	Nacrita	Serpentina	Crisotilo
		Dickita		Luzardita
		Halloisita		Bertierina
TRILAMINARES T:O:T 2:1	Pirofilita		Talco	
		Montmorillonita		Saponita
	Esmectitas	Beidellita	Esmectitas	Hectorita
		Nontronita		
	Vermiculitas		Vermiculitas	
	Illitas			
		Moscovita		Biotita
	Micas	Paragonita	Micas	Flogopita
			Lepidolita	
TOTO 2:1:1	CLORITAS			
FIBROSAS	Paligorskita		Sepiolita	

Fuente: (García Romero & Suárez Barrios)



c) En función a su estructura.

Como lo indican con (Badillo & Rodríguez, 2005) y de acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres grandes grupos:

- **Caolinitas:** $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$: Formadas por una lámina silícica y otra alumínica que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caoliníticas serán relativamente estables en presencia del agua.
- **Montmorilonitas:** $[(OH)_4Si_8Al_4O_{20} \cdot n H_2O]$: Formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión la unión retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macro físicamente, en una expansión. Estas arcillas en presencia de agua, presentarán fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particular aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico.
- **Ilitas:** $[(OH)_4 \cdot K_y(Si_{8-y} Al_y)(Al_4 Fe_4 Mg_4 Mg_6)O_{20}]$, con $y = 1.5$ por lo general]: Estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de la montmorilonitas y en general, las arcillas ilíticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

2.2.4. Ceniza.

Según (Petermann & Saeed, 2012), las ceniza de carbón que se pueden fraccionar en cenizas de fondo, cenizas volates (definidas así por la norma ASTM) y combinados; las cenizas de fondo son residuos que se encuentran en el fondo de las calderas y poseen diámetros de partícula mayores a 0.075 mm (retenido malla N°200) característicos del carbón inquemado, este restante es más usado en estudios como



material de relleno ya que no posee un alto potencial puzolánico; las cenizas volantes son residuos que quedan atrapados en los filtros de las calderas y poseen diámetros menores a los 0.075 mm (pasante malla N°200), este ha demostrado lograr reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, a este producto se le llama geopolímero lo que quiere decir que puede lograr obtener propiedades puzolánicas similares a las del cemento Portland.

Según (Sharma, Swain, & Sahoo, 2012), hablan sobre estudios anteriores han sobrepasado un CBR enorme de 70% con un contenido de ceniza de carbón de 30% sin emplear ningún activador, aumentando en un 500% el CBR inicial del suelo sin estabilizar (Senol 2006); Terceros estudios han confirmado que el incluido óptimo de cenizas de carbón es del 20% en suelos arcillosos, pasando de una resistencia a la compresión inicial del suelo de 25 kPa y un CBR de 2.06%, se logró mejorar a una resistencia de 63 kPa y a un CBR de 4.03%, por otro lado las imágenes del microscopio electrónico de barrido instruyeron la columna de ajenos compuestos cementosos, como resultado de la reacción puzolánica que se muestra dentro de los espacios porosos.

2.2.4.1. Origen y proceso de obtención de ceniza de horno ladrillero.

Swisscontact (2012). En el Perú existen aproximadamente 2000 hornos para la fabricación de ladrillos artesanales. Los cuales generan 53,500 toneladas/año de ceniza de fondo.

La ceniza de fondo es un subproducto de la combustión del eucalipto y el carbón, aunque también cuenta con otros materiales para la elaboración de ladrillos artesanales, el cual presenta una línea de producción.

La ceniza de fondo se obtiene después de 2 días de enfriamiento de los hornos, el acopio de ceniza se realiza en forma manual a través de una pala, que permite remover la ceniza, amontonándola para meterla en sacos, suele estar subutilizada y termina en acopios de rellenos sanitarios, causando contaminación durante su proceso de traslado.

2.2.4.2. Ceniza de Fondo.

La ceniza de fondo comprende la fracción gruesa de ceniza producida en los hornos ladrilleros. A menudo se mezcla con impurezas minerales contenidas en el combustible.

El material cae al fondo del horno y se separa mecánicamente. La ceniza de fondo constituye la mayor parte (60%) del total de las cenizas producidas por la combustión de madera y carbón.

2.2.4.3. Morfología de la Ceniza de Fondo.

Según (Morales Zuluaga D. 2015), al realizar la micrografía de SEM (microscopio electrónico de barrido), se demostró muy baja presencia de partículas esféricas, la cual es una característica muy importante en las cenizas de carbón.

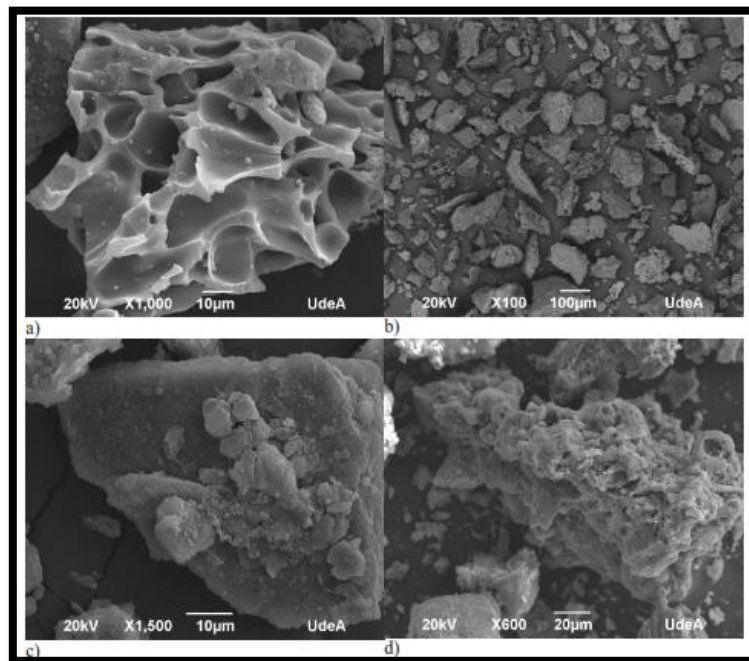


FIGURA 4 Micrografía de SEM de muestra de Ceniza de Carbón. (Elaboración Morales Zuluaga D. 2015).

De la figura N°4 podemos detallar:

a) Partícula de alta porosidad correspondiente a carbón inquemado.

b) Fragmentos de partículas que componen la Ceniza de Carbón, se observan partículas angulares asociadas al sílice presente y partículas irregulares con bordes no muy definidos asociadas al carbón inquemado. No se observan esferas, siendo estas características de las cenizas de carbón.

c) Partícula compacta rica en sílice y alúmina.

d) Partícula de carbón inquemado con algunos trozos de esferas de sílice y alúmina.

2.2.4.4. Composición química de la Ceniza de Fondo.

La composición química de las cenizas de fondo depende de los componentes de los materiales quemados. Principalmente las cenizas de fondo se componen de madera y aserrín, las partículas producto del brusco enfriamiento después de la elevada temperatura de combustión, pueden ser sílice (SiO_2), aluminatos de calcio, anhídrida u óxido de calcio libre, encargados de generar la activación química para la producción del material cementante.

Tabla 7 Composición química de óxidos en PPM y porcentajes de Ceniza de Carbón.

Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	SiO ₂	Sb	Sc
PPM	%	PPM	PPM	%	PPM	%	PPM	PPM
ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B
12	0.27	2	2	0.52	11	>10	<5	2.5
Ag	CaO	As	Ba	Be	Bi	Al ₂ O ₃	Cd	Co
PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM
ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B
0.3	0.45	16	127	<0.5	<5	>15	<1	1
Cr	Cu	FeO ₃	Ga	K	La	Li	Mg	Mn
PPM	PPM	%	PPM	%	PPM	PPM	%	PPM
ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B
3	28.1	0.26	<10	9.85	<0.5	2	0.92	159
Sn	Sr	Ti	Tl	V	W	Y	Zn	Zr
PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B
<10	2372	0.02	<2	6	<10	1.2	47.9	12

Fuente: (Cubas Benavides & Falen Chávez A. 2016)

Según (Cubas Benavides & Falen Chávez A. 2016), la composición química del análisis de la muestra de ceniza manifestó que la suma de los componentes que tienen propiedades puzolánicas (SiO_2 - Al_2O_3 - CaO - FeO_3), las cuales son equivalentes al 25.71% en masa de las cenizas y que un 74.29% concierne al carbón inquemado.

2.2.5. Sub rasante de una vía.

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, es la que contendrá la estructura del pavimento, está construida por

un material de suelos seleccionados que cumplan las características adecuadas y que es compactado en distintas capas para construir un cuerpo estable en óptimo estado. La capacidad de soporte, junto con el tránsito y las características de los materiales que serán utilizados en la construcción de la superficie de rodadura, conforman las variables básicas para tener un buen diseño de la estructura del pavimento que es colocado encima. En la etapa de construcción los últimos 30cm de suelo que este debajo del nivel superior de la subrasante, deberá ser compactado al 95% de la máxima densidad seca que es obtenida en el ensayo de proctor modificado.

Tabla 8 Categoría de sub rasante.

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Manual de carreteras 2014)

2.2.6. Plasticidad de Suelos Arcillosos.

La plasticidad es la propiedad que tienen los suelos finos de presentar deformaciones sin agrietarse, ni producir desgarramientos, modificando su resistencia al corte

Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua, siendo producto de las relaciones electroquímicas que se presentan en las superficies de los elementos que forman el agregado que componen los suelos plásticos como partículas elementales de limo y arcilla.

2.2.7. Contenido de Humedad Óptimo de Suelos Arcillosos.

Es la relación entre el peso del agua y el peso seco de muestra, el peso de agua es la que se encuentra contenida en dicha muestra de suelo en estado natural y el peso seco de muestra es el resultado luego de haberla secado nuestra muestra de suelo en estado natural en un horno de laboratorio.



El comportamiento y la resistencia a la compresión de los suelos arcillosos dependen de la proporción de agua que posean dichas muestras, esta propiedad influye directamente al cambio de volumen.

2.2.8. Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos.

Es la mayor densidad que puede alcanzar el suelo arcilloso al ser compactado con la humedad óptima.

2.2.9. Índice de CBR.

Es un indicador que se utiliza para medir la capacidad de soporte de explanadas, bases y sub bases, el cual se obtiene en condiciones de humedad y densidad controladas.

2.2.10. Estabilización de suelos.

Según Fajardo Cuesta – Vásquez Jara (2014) la estabilización de suelos se puede realizar de forma química, física o ambas sobre un suelo, con el propósito de mejorar sus propiedades. La estabilización de suelos, tiene como finalidad procurar por medio de los agentes estabilizantes, mejorar las propiedades geotécnicas de los y lograr que este sea apto para el proceso constructivo.

Entonces según Álvarez, J. (2010) con las distintas definiciones mencionadas podemos comentar que la estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico para modificar las características de los suelos y así poder corregir una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien disminuir su plasticidad.

2.2.10.1. Estabilización de suelos arcillosos.

La estabilización de suelos arcillosos consiste en modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo.

Las principales características indeseables de una arcilla plástica serán: Un índice plástico demasiado alto que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción), así como una capacidad para soportar carga estructural que será demasiado baja.



El suelo arcilloso tiene la capacidad de modificar su volumen cuando absorbe o deja de absorber agua produciendo hinchazones sobre el asentamiento de la obra que deriva en ciertas rajaduras que muchas veces pueden visualizarse desde la fachada con grietas horizontales.

2.2.10.2. Caracterización De Los Suelos Aptos Para La Estabilización.

Según Fajardo Cuesta – Vásquez Jara (2014) su función fundamental es identificar el suelo como arena, como arcilla, suelo orgánico y además determinar el porcentaje de finos y su plasticidad. Se debe tener en cuenta aspectos como:

- a. Deformabilidad
- b. Expansividad
- c. Sensitividad

Cuando se logra tener una completa información del suelo podremos abordar con total plenitud cualquier problema que ese tenga y en este caso saber si es apto para adoptar un método de estabilización.

Los ensayos utilizados para realizar la caracterización de los suelos, se pueden dividir en:

➤ **Ensayos básicos:**

De identificación dependes únicamente de la naturaleza del suelo y, por tanto, de sus propiedades intrínsecas, siendo los límites de consistencia.

➤ **Ensayos complementarios:**

Por su parte, se refieren a características relativas al estado natural del suelo tales como: densidad natural, contenido de materia orgánica y de ciertas sales y humedad. Por consiguiente, ensayos de proctor modificado y prueba de resistencia a la compresión no confinada.

2.2.10.3. Métodos de estabilización de suelos.

Fajardo Cuesta – Vásquez Jara (2014) Estos métodos o procesos van desde la incorporación a los suelos de materiales o nuevos elementos que proporcionen estabilidad, hasta la formación de verdaderos mecanismos de defensa contra la acción de las fuerzas climáticas.



➤ **Mecánicos.**

Son aquellas con los que se logran mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia, es decir obtener una buena compactación y densificación del material portante. La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles (Terzagui, K ,1986).

➤ **Físicos.**

Que persigue la obtención de una adecuada granulometría, mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos o ambos a la vez, al primitivo suelo.

➤ **Químicos.**

Es la aplicación de un agente estabilizador químico que tiene como objetivo estabilizar el suelo al mezclarse con este. Estabilización química, que se refiere al cambio de la propiedad del suelo por efectos fisico-químicos de superficie mediante la adición de cal, cemento, asfalto, cloruro de sodio permeabilizantes entre otro.

➤ **Hidráulicos.**

El concepto de drenaje en el subsuelo es simple, se trata de colocar un elemento dentro del suelo cuya relación de vacíos sea mayor a la existencia, siendo este el camino que el fluido tomara de forma tal que, al conectar el elemento mencionado a una salida definida en proyecto, el fluido sea evacuado.

2.2.11. Agentes estabilizantes.

(Suarez Díaz ,2012) las cenizas que contienen compuestos de silica y aluminio, los cuales mezclados con cal y agua forman una masa cementada, las cenizas son el residuo mineral de la combustión del carbón. El diseño con cenizas determina el contenido óptimo de finos que produce la máxima densidad revuelta con el suelo. Se recomienda utilizar inicialmente un contenido de cenizas del 10% y ensayar muestras



con contenidos de ceniza entre el 10 y el 20%.

2.2.11.1. Propiedades geotécnicas que se mejoran.

➤ **Estabilidad volumétrica.**

El suelo también puede expandir su volumen dependiendo del grado de humedad y del tipo de suelo, es importante que su volumen sea estable y no varía significativamente bajo condiciones naturales.

➤ **Resistencia mecánica.**

Es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión, esta fuerza de cohesión depende directamente del contenido de humedad y del tipo de suelo en estudio ya sea arcilla, arena o limo.

➤ **Permeabilidad.**

Es la participación que tiene el suelo para transferir el agua y el aire a través de sus partículas. Mientras más permeable sea el suelo pues mayor filtración originara.

➤ **Comprensibilidad.**

Es la capacidad del suelo para reducir el espacio entre sus partículas y disminuir su volumen y como consecuencia de esto tener mayor consistencia y también resistencia mecánica.

2.2.12. Ensayo de Limites de Atterberg.

a) limite liquido de los suelos (MTC E110, 2016).

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Se considera que la resistencia al corte no drenado del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi). El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas

de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte. Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.



FIGURA 5 Cuchara de Casa Grande. (Elaboración Propia).

b) Limite plástico (MTC E111, 2016)

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de



Suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte. Para el límite plástico se halla un promedio de las humedades multiplicadas por 100 que se muestra en la ecuación.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de suelo secado al horno}}{\text{Peso de agua}} \times 100.$$

c) Índice de plasticidad (MTC E111, 2016)

(Huezo Maldonado & Orellana Martinez, 2009) nos indican que el índice de plasticidad es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución.

$$IP = LL - LP$$

Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10.

2.2.12.1. Sistema Unificados de Clasificación de suelos (SUCS)

Como lo indican (Badillo & Rodríguez, 2005) y (Braja, 2006) este sistema se basa, el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) usándose también la Carta de Plasticidad. Fue originalmente propuesto por A. Casagrande y adoptado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, este sistema se usa en todo trabajo de geotecnia.

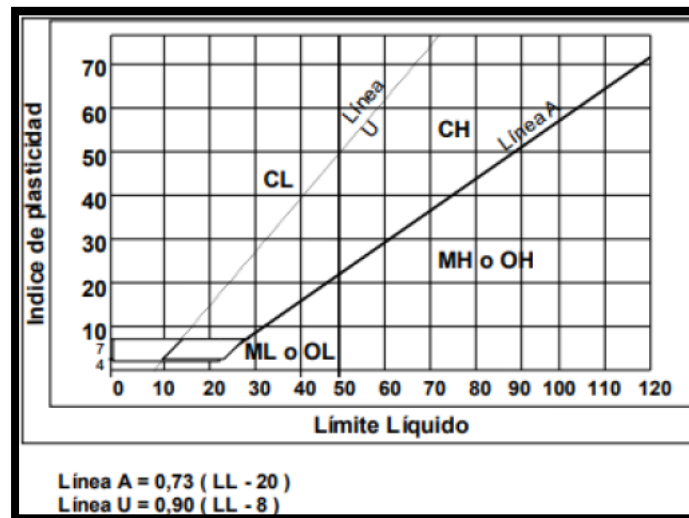


FIGURA 6 Carta de Plasticidad. (MTC 2016).

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio ^a			Clasificación de suelos			
			Símbolo	Nombre de Grupo ^b		
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos ^c	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	GW	Grava bien graduada ^f	
		Gravas con finos Más del 12% de finos ^c	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e	GP	Grava mal graduada ^f	
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos ^d	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	SW	Arena bien graduada ^f	
		Arenas con finos Más del 12% de finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e	SP	Arena mal graduada ^f	
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea ^j "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) ^{k,l,m}	
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Limo ^{k,l,m}	
		Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{k,l,m}
			Orgánicos	IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico ^{k,l,m}
	Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico	Inorgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,p}
				$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	PT	Limo Orgánico ^{k,l,m,q}
			Orgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	PT	Turba
				IP se grafica debajo de la línea "A"	PT	Turba

FIGURA 7 Cuadro SUCS. (MTC 2016).

2.2.12.2. Método AASHTO.

Como lo indican (Badillo & Rodríguez, 2005) y (Braja, 2006) este sistema fue propuesto por el Comité sobre clasificación de materiales para subrasantes y caminos de tipo granular del Highway Research Board. Se basa en la distribución granulométrica límite líquido e índice de plasticidad. Siendo 8 grupos principales, A-1 al A-8, dividiéndose en dos fracciones:

- Grano Grueso: Grupos A-1, A-2 y A-3 cuando el 35% o menos de la muestra que pasa el tamiz N°200.

- Grano Fino, Grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 cuando más del 35% de la muestra que pasa el tamiz N°200.

Por simple inspección visual se logra catalogar en el grupo A-8 a los suelos con alto contenido orgánico como son: las bostas y compostas orgánicas.

Para una subdivisión en el grupo A-7 se recurre al límite líquido y al índice de grupo (GI), entre el mayor sea el valor del índice de grupo menor será su utilidad como material de subrasante. Un GI=20 o más indica un material muy pobre para usar se con ese propósito.

$$GI = (F200 - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F200 - 35)(IP - 10)$$

Al momento de calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, use solo la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad.

$$GI = (F200 - 35)(IP - 10)$$

Dónde:

F200= % que pasa la malla N°200.

LL= Límite Líquido.

IP= Índice de plasticidad.

Clasificación General	Suelos Granulares (≤ 35% pasa por tamiz N°200)							Suelos Granulares (>35% pasa por tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 ** A-7-6 **
Del Tamiz (% que pasa)	Tamiz N°10	50 max									
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min							
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max				36 min		
Del Tamiz	LL			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante	Excelente a Buena							Regular a pobre			
** Si: IP ≤ (LL-30) es A-7-5							Si el Suelo es NP >> IG=0; Si IG<0 >> IG=0				
** Si: IP > (LL-30) es A-7-6											

FIGURA 8 Cuadro de Clasificación de Suelos AASHTO. (MTC 2016).

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.

FIGURA 9 Características de los Suelos – Según AASHTO (Duque Escobar & Escobar Portes, 2002)

2.2.13. Ensayo Proctor. (MTC E116, 2016)

Según Pontificia Universidad Católica del Perú (2012), el ensayo de compactación tipo Proctor (tanto Estándar como Modificado), es aplicable sólo a aquellos suelos que tienen 30% o menos (en peso) de partículas retenidas en la malla de ¾" (19mm). El suelo, con contenido de humedad seleccionado, se coloca en capas dentro de un molde de dimensiones determinadas. Cada capa es compactada por un cierto número de golpes realizados mediante el empleo de un martillo con peso y altura de caída estandarizada. Se calcula la densidad seca resultante y se repite el procedimiento con distintos contenidos de humedad, un número suficiente de veces como para establecer la correlación entre la densidad seca obtenida y la humedad del suelo. Estos datos, graficados, representan la "curva de compactación". A partir de la curva de compactación pueden obtenerse los valores de máxima densidad seca y humedad óptima. La energía, representada por número de capas, el peso y la altura de caída del martillo definirá si se trata de un ensayo de tipo "estándar" o "modificado", mientras que el número de golpes por capa y las dimensiones del molde, definidas por el tipo de suelo a ensayar, indicarán si se trata de un ensayo tipo "A", "B" o "C".

2.2.13.1. Ensayo Proctor modificado. (MTC E115, 2016)

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m(56000 pie-lbf/pie).

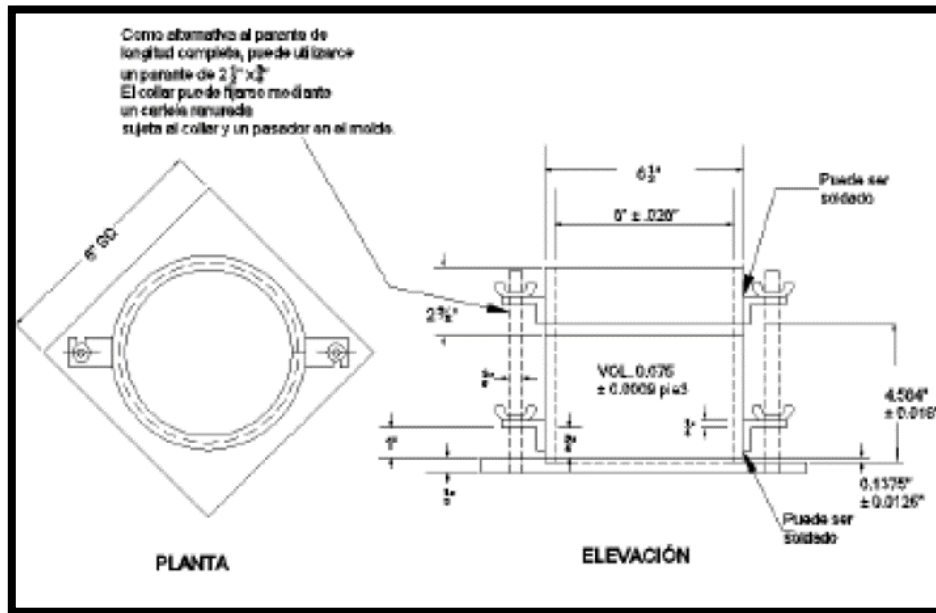


FIGURA 10 Molde cilíndrico de 4". (MTC 2016).

TIPO DE ENSAYO	ESTÁNDAR		MODIFICADO
PESO DEL MARTILLO	5.5 lbf(2.49 kg)		10lbf (4.54 kg)
ALTURA DE CAÍDA	12"(305 mm)		18"(457 mm)
NÚMERO DE CAPAS	3 capas		5 capas
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	A	B	C
MATERIAL EMPLEADO	< #4	<3/8"	< 3/4"
DIÁMETRO DEL MOLDE	4"	4"	6"
NÚMERO DE GOLPES	25	25	56
GRADACIÓN	Hasta 20% > #4	Más de 20% > #4 y hasta 20% > 3/8"	Más de 20% > 3/8" y menos de 30% > 3/4"

FIGURA 11 Cuadro resumen. (Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012).

2.2.14. Ensayo CBR (Ratio de soporte de California). (MTC E132, 2016).

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de sub-rasante, sub-base y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible. Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de Sub-rasante y de las capas de base, Sub-base y de afirmado.

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

Tabla 9 Valores de Carga Unitaria a utilizarse en la ecuación de CBR.

Penetración		Carga Unitaria	
mm	pulg	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

Fuente: (Bowles, 1981, pag 190)



2.2.15. Ensayos físicos, cenizas de carbón provenientes de hornos de ladrilleras.

Pasante malla 200: Se realizará con los tamices N° 200, tomando una muestra, luego se inicia con el zarandeo para llegar a la finura deseada para la elaboración de la mezcla con el suelo.

2.3. Hipótesis.

2.3.1. Hipótesis general.

La adición de ceniza de fondo influirá positivamente en el proceso estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub- rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.

2.3.2. Sub hipótesis.

1. La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que disminuya el índice de plasticidad de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.
2. La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que aumente el contenido de humedad óptimo y disminuya la densidad máxima seca de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.
3. La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que incremente la capacidad de soporte de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.

2.4. Definición de variables.

2.4.1. Variables independientes.

- Ceniza de fondo de Horno Ladrillero.

2.4.1.1. Definición de variables independientes.

- Ceniza de fondo de Horno Ladrillero: En la presente investigación se denomina como "Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero" a la fracción gruesa de ceniza producida en la cama inferior y la cámara de combustión primaria.



2.4.1.2. Indicadores de las variables independientes.

- Porcentaje de Ceniza de Fondo (%).
- Tamaño de la Ceniza de Fondo (mm).

2.4.2. Variables dependientes.

- Estabilización de suelos arcillosos.
- Plasticidad de Suelos Arcillosos.
- Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos.
- Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos.
- Índice de CBR de Suelos Arcillosos.

2.4.2.1. Indicadores de las variables dependientes.

- Estabilización de suelos arcillosos: En la presente investigación se denomina como "Estabilización de Suelos Arcillosos" al proceso de modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo.
- Plasticidad de Suelos Arcillosos: En la presente investigación se denomina como " Plasticidad de Suelos Arcillosos" a la propiedad que tienen los suelos finos de presentar deformaciones sin agrietarse, ni producir desgarramientos, que en presencia de agua modifican su resistencia al corte.
- Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos: En la presente investigación se denomina como " Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos" a la relación entre el peso del agua y el peso seco de muestra.
- Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos: En la presente investigación se denomina como " Densidad Máxima de Suelos Arcillosos" a la mayor densidad que puede alcanzar el suelo arcilloso al ser compactado con la humedad óptima.
- Índice de CBR de Suelos Arcillosos: En la presente investigación se



denomina como " Índice de CBR de Suelos Arcillosos" al indicador que se utiliza para medir la capacidad de soporte de explanadas, bases y sub bases.

2.4.2.2. Indicadores de la variable dependiente.

- Límite de Líquido (%).
- Límite Plástico (%).
- Índice de Plasticidad (%).
- Contenido de Humedad Óptimo (%).
- Densidad Seca Máxima (kN/m³).
- CBR al 100% de la DSM (Numero).
- CBR al 95% de la DSM (Numero).

2.4.3. Operacionalización de variables.

	VARIABLE	DEFINICION	INDICADORES	DIMENSION	INSTRUMENTOS
VARIABLES INDEPENDIENTES	Cenizas de fondo de horno ladrillero.	En la presente investigación se denomina como "Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero" a la fracción gruesa de ceniza producida en la cama inferior y la cámara de combustión primaria.	Porcentaje de Ceniza de Fondo.	%	Hoja de Registro
			Tamaño de la Ceniza de Fondo.	mm	Hoja de Registro
VARIABLES DEPENDIENTES	Estabilización de Suelos Arcillosos.	En la presente investigación se denomina como "Estabilización de Suelos Arcillosos" al proceso de modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo.	Índice de Plasticidad (IP)	%	Guía de Laboratorio
			Contenido de Humedad Óptima (CHO)	%	Guía de Laboratorio
			Densidad Seca Máxima (DSM)	kN/m ³	Guía de Laboratorio
			CBR al 100% de la DSM	Numero	Guía de Laboratorio
			CBR al 95% de la DSM	Numero	Guía de Laboratorio
	Plasticidad de Suelos Arcillosos.	En la presente investigación se denomina como "Plasticidad de Suelos Arcillosos" a la propiedad que tienen los suelos finos de presentar deformaciones sin agrietarse, ni producir desgarramientos, que en presencia de agua modifican su resistencia al corte.	Límite Líquido (LL)	%	Guía de Laboratorio
			Límite Plástico (LP)	%	Guía de Laboratorio
			Índice de Plasticidad (IP)	%	Guía de Laboratorio
	Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos.	En la presente investigación se denomina como "Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos" a la relación entre el peso del agua y el peso seco de muestra.	Contenido de Humedad Óptimo (CHO)	%	Guía de Laboratorio
	Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos.	En la presente investigación se denomina como "Densidad Máxima de Suelos Arcillosos" a la mayor densidad que puede alcanzar el suelo arcilloso al ser compactado con la humedad óptima.	Densidad Seca Máxima (DSM)	kN/m ³	Guía de Laboratorio
Índice de CBR de Suelos Arcillosos.	En la presente investigación se denomina como "Índice de CBR de Suelos Arcillosos" al indicador que se utiliza para medir la capacidad de soporte de explanadas, bases y sub bases.	CBR al 100% de la DSM	Numero	Guía de Laboratorio	
		CBR al 95% de la DSM	Numero	Guía de Laboratorio	

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO III



3.1. Metodología de la investigación.

3.1.1. Enfoque de la investigación.

Según lo que menciona (Hernández Sampieri; Fernández Collado & Baptista Lucio, 2007) “un enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar una hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”

Según el enfoque optado para este trabajo de investigación se presenta un tipo de investigación cuantitativo, ya que se cuantifican o miden numéricamente las variables en estudio. En este caso mediremos y cuantificaremos los distintos valores de las propiedades de suelos arcillosos estabilizados con cenizas de fondo de horno ladrillero; para probar mediante la recolección de datos la hipótesis planteada, con base en la medición numérica y el análisis estadístico.

Por lo cual el tipo de investigación es: **Cuantitativo.**

3.1.2. Nivel de la investigación.

Según menciona (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2007), “Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación entre dos o más conceptos, categorías, o variables en un contexto en particular”

Esta investigación presenta un alcance de tipo correlacional porque se miden, evalúan, después cuantifican y analizan la vinculación de las variables.

Por lo cual el tipo de investigación es: **Correlacional.**

3.1.3. Método de la investigación.

A través de observaciones realizadas de un caso particular se plantea un problema. En la investigación se plantearon hipótesis, que a través de un razonamiento deductivo intenta validar las hipótesis empíricamente mediante ensayos de laboratorios.

Por lo cual el método de investigación es: **Hipotético – Deductivo.**



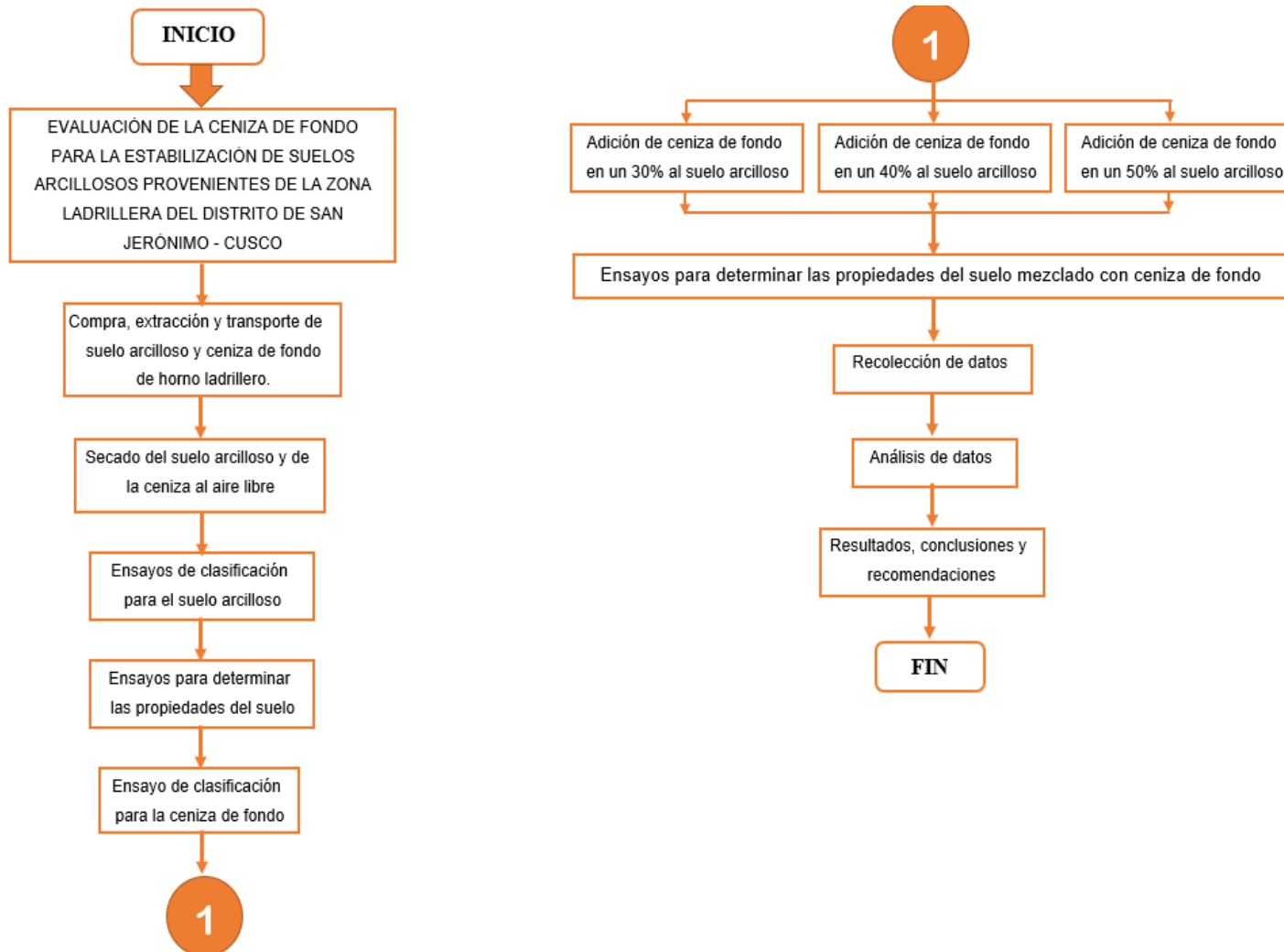
3.2. Diseño de la investigación.

3.2.1. Diseño metodológico.

De acuerdo a (Hernández, R.; Fernández & Baptista, 2010, pág. 129), se considerará el diseño del tipo experimental ya que se propiciará cambios intencionales en las variables estudiadas como la cantidad de ceniza, provocando causa y efecto en las propiedades físico – mecánicas del suelo arcilloso.

Por lo cual el diseño de investigación es: **Experimental.**

3.2.2. Diseño de ingeniería.



Fuente: Elaboración propia



3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población.

3.3.1.1. Descripción de la población.

(Hernández, R.; Fernández & Baptista, 2010) Nos indica que la población es el conjunto de todos los elementos o unidades de análisis que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación.

En la presente tesis la población son los suelos de las vías no pavimentadas, de la zona ladrillera de San Jerónimo - Cusco.

3.3.1.2. Cuantificación de la población.

La población es única, y está conformada por los suelos de las vías no pavimentadas de la zona ladrillera de San Jerónimo – Cusco, en estos suelos encontramos el estrato geológico arcilloso.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

(Hernández, R.; Fernández & Baptista, 2010) nos indica que la muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen al universo.

En la presente tesis las muestras son volúmenes de suelo arcilloso que fueron extraídas de las dos calicatas realizadas con 1.5m de profundidad, las calicatas fueron realizadas en las coordenadas mostradas en la figura N°2 de la zona ladrillera de San Jerónimo del distrito de San Jerónimo - Cusco.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.

La muestra es el estrato arcilloso de los suelos provenientes de la zona ladrillera de San Jerónimo – Cusco, donde se realizaron las dos calicatas.

3.3.2.3. Método de muestreo.

(Hernández, R.; Fernández & Baptista, 2010) nos indican que el método de muestreo es una herramienta de la investigación científica cuya función básica es determinar qué parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicho universo.

Considerando que las calicatas fueron elegidas a criterio de los tesisistas con fines

investigativos, comenzando por un reconocimiento de lugar para luego considerar la accesibilidad, estratigrafía, identificación de zonas críticas y la facilidad de sacar dichas muestras sin perjudicar el trabajo de las personas que elaboran ladrillos y tejas, podemos definir que el método de muestreo es no probabilístico y de conveniencia.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra.

Una vez seleccionado la muestra para nuestra investigación, esta fue evaluada bajo diversos ensayos de laboratorio como podemos apreciar en la siguiente tabla..

Tabla 10 Criterios de evaluación de muestra por Calicata.

Cantidad de Muestra de suelo arcilloso (Kg)	CONCORDANCIA
1.00	MTC E- 108/ Determinación del contenido de humedad de un suelo
15.17	MTC E- 110/ Determinación del Limite liquido de los suelos
15.17	MTC E- 111/ Determinación del Limite plástico e índice de plasticidad
23.7	MTC E- 115/Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)
161.76	MTC E- 132/ CBR de suelos (Laboratorio)

Fuente: Elaboración Propia

Para la recolección de ceniza de fondo de horno ladrillero, pedimos al Sr. Gregorio Sánchez un propietario de horno ladrillero que nos facilite este insumo, para lo cual será calculado en función al material necesario a utilizar en cada ensayo en sus respectivos porcentajes.

3.3.3. Criterios de inclusión.

- Los especímenes muestrales serán elaborados con suelo proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco.
- Los especímenes muestrales serán elaborados con ceniza de fondo de ladrillera proveniente de los hornos ladrilleros de dicha zona.
- Los especímenes muestrales serán elaborados con agua potable.
- Todos los ensayos serán elaborados de acuerdo a las indicaciones de la normativa técnica peruana.



3.4. Instrumentos.

3.4.1. Instrumentos Metodológicos.

3.4.1.1. Instrumento de Recolección de datos para clasificación de suelos



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO ACTIVADA ALCALINAMENTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO-CUSCO

FORMATO PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Form fields for data collection: Fecha, Localización, Realizado Por, Calicata N°, Profundidad, Otros.

Table with 5 rows for input data: CALICATA, PESO INICIAL, LIMITE LÍQUIDO, PASA EL TAMIZ # 200, INDICE DE PLASTICIDAD.

Table for soil classification: AASHTO, SUCS.

Observaciones: _____

Table with 5 rows for input data: CALICATA, PESO INICIAL, LIMITE LÍQUIDO, PASA EL TAMIZ # 200, INDICE DE PLASTICIDAD.

Table for soil classification: AASHTO, SUCS.

Observaciones: _____



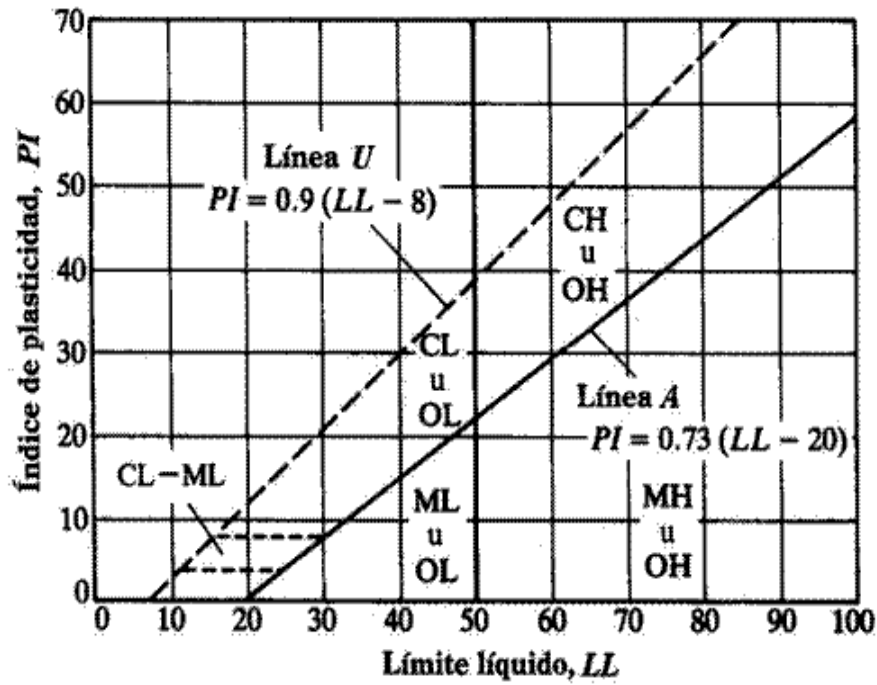
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO ACTIVADA ALCALINAMENTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO- CUSCO

FORMATO PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS



De acuerdo a la Carta de Plasticidad de Casagrande		



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO ACTIVADA ALCALINAMENTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO-CUSCO

FORMATO PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Tabla 23 – Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio ^a				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo ^b
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4 \text{ y } 1 \leq C_c \leq 3^e$	GW	Grava bien graduada ^f
		Menos del 5% de finos ^c	$C_u < 4 \text{ y/o } 1 > C_c > 3^e$	GP	Grava mal graduada ^f
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Gravas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa ^{g,h}
		Más del 12% de finos ^c	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa ^{g,h}
		Arenas Limpias	$C_u \geq 6 \text{ y } 1 \leq C_c \leq 3^e$	SW	Arena bien graduada ⁱ
		Menos del 5% de finos ^d	$C_u < 6 \text{ y/o } 1 > C_c > 3^e$	SP	Arena mal graduada ⁱ
Arenas con finos	Más del 12% de finos ^d	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa ^{g,h,j}	
	Más del 12% de finos ^d	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa ^{g,h,j}	
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP>7 y se grafica en o arriba de la línea ^l "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) ^{k,l,m}
			IP<4 y se grafica en o arriba de la línea ^l "A"	ML	Limo ^{k,l,m}
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,n}
					Limo Orgánico ^{k,l,m,o}
		Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{k,l,m}
		Orgánicos	IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico ^{k,l,m}
		$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,p}	
				Limo Orgánico ^{k,l,m,q}	
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba

^a Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg.)
^b Si la muestra de campo contiene guijarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.
^c Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.
^d Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.

^e $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
^f Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena añada con arena al grupo.
^g Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.
^h Si los finos son orgánicos añádelo al nombre de grupo.
ⁱ Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava añada con grava al grupo.
^j Si los límites de ^l **Atterberg** se sitúan en el área sombreada, el suelo es un ^l **arcilla limosa** CL-ML.
^k Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añada con ^l **arena**, o con grava, el que sea predominante.

^l Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añada "arenoso" al nombre de grupo.
^m Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añada "gravoso" al nombre de grupo.
ⁿ IP ≥ 4 y se grafica en o arriba de la línea A.
^o IP < 4 o se grafica debajo de la línea A.
^p IP se grafica en o arriba de la línea A.
^q IP se grafica debajo de la línea A.

Fuente: (Braja, 2006, pág. 16)

Según SUCS				



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO ACTIVADA ALCALINAMENTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO- CUSCO

FORMATO PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Tabla 24 - Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares (≤ 35% pasa por tamiz N°200)							Suelos Granulares (>35% pasa por tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 ** A-7-6 **
% que pasa	Tamiz N°10	50 max									
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min							
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max				36 min		
Del Tamiz N°200	LL			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante	Excelente a Buena							Regular a pobre			
** Si: IP ≤ (LL-30) es A-7-5							Si el Suelo es NP >> IG=0; Si IG<0 >> IG=0				
** Si: IP > (LL-30) es A-7-6											

Fuente: (Braja, 2006, pág. 14)

Según		Calicata 01	Clasificación General	Tipo de Material más Común	Calificación de la Subrasante
AASHTO	—	Calicata 01	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre
	—	Calicata 02	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre



3.4.1.2. Instrumento de Recolección de datos para ensayo de Contenido de Humedad



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO-
CUSCO

FORMATO PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Fecha: _____ Calicata N°: _____
 Localización: _____ Otros: _____
 Realizado _____
 Por: _____

1	Numero de tara		
2	Peso de la tara+ Peso del suelo humedo (gr)		
3	Peso de la tara+ Peso del suelo seco (gr)		
4	Peso de Agua contenida (gr)		
5	Peso de la tara (gr)		
6	Peso del suelo seco (gr)		
7	Contenido de Humedad %		

C-1	Contenido de Humedad %	
-----	------------------------	--

Fuente: (ASTM D 2974- 00, 2000), (MTC E 108 -2000, 2000)
Elaboración Propia



3.4.1.3. Instrumento de Recolección de datos para ensayo de Limite Liquido y Limite Pastico.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos

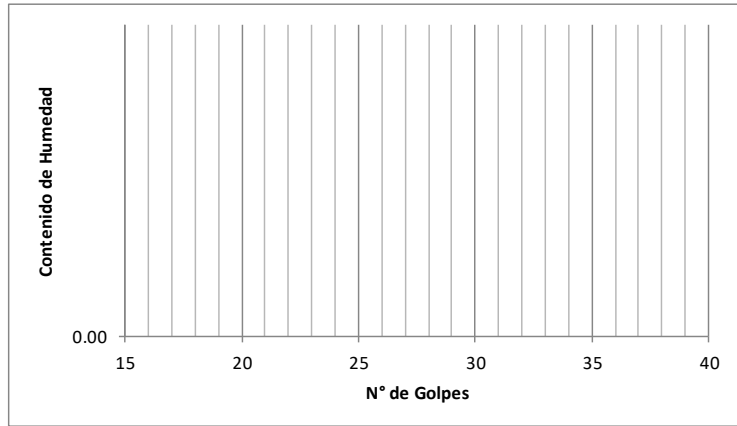


EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO ACTIVADA ALCALINAMENTE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO- CUSCO

FORMATO PARA EL ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLÁSTICIDAD

Form fields for Fecha, Localización, Realizado Por, Calicata N°, and Otros.

Table with 8 columns: Número Tara, N° golpes, Total Peso Humedo +(T), Total Peso SECO +(T), Peso Agua, Tara (T), Muestra PESO SECO, Y = %Humedad.



Del Gráfico Límite Líquido (LL) =

Por ecuación - Límite Líquido:

Table with 8 columns: Número Tara, Total Peso Humedo +(T), Total Peso SECO +(T), Peso Agua, Tara (T), Muestra PESO SECO, CONTENIDO DE AGUA, LIMITE PLASTICO %.

Límite Líquido (LL) =
Límite Plástico (LP) =
Índice de Plasticidad (IP) =

Fuente: (Bow les, 1981, pág. 217), (MTC E 110 -2000, 2000), (MTC E 111 -2000, 2000)
Elaboración Propia



3.4.1.4. Instrumento de Recolección de datos para Ensayo de Proctor



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



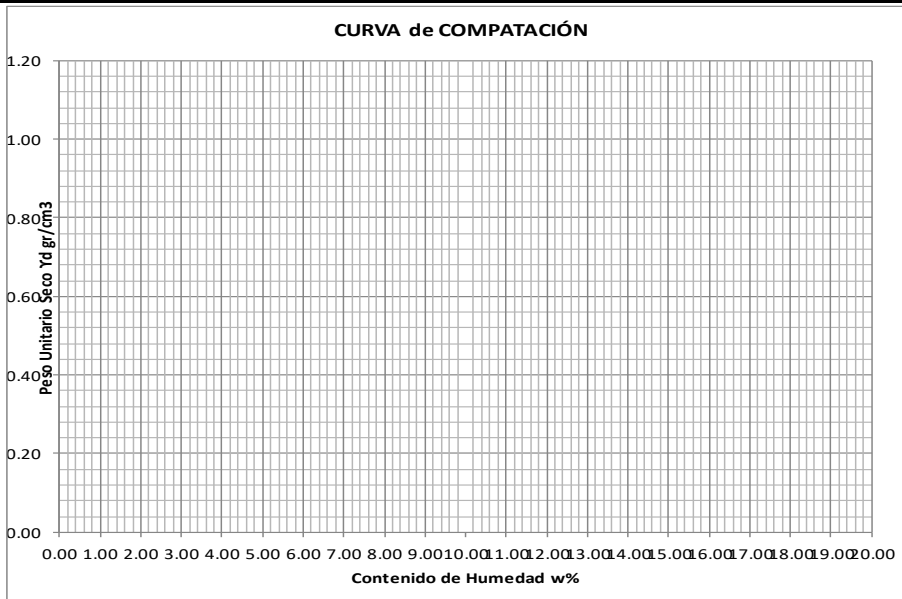
EVALUACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN
JERÓNIMO- CUSCO

FORMATO PARA LAS RELACIONES HUMEDAD DENSIDAD
(Ensayo de Proctor Modificado)

Form fields for: Fecha, Localización, Realizado Por, Calicata N°, and Otros.

Table with 5 columns: Muestra N°, P1, P2, P3, P4. Rows include: N° Tara, Peso Hum+(T), Peso SECO+(T), Peso Agua, Tara (T), Peso Suelo Seco, Contenido de Humedad (w).

Table with 5 columns and 7 rows for density determination. Rows include: Contenido de Humedad (wm), Peso de Suelo+Molde (gr), Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr), Densidad húmeda (gr/cm3), Densidad seca (Yseca) (gr/cm3).



Contento de Humedad Óptimo (%)

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil – Joseph Bowles
Elaboración Propia



3.4.1.5. Instrumento de Recolección de datos para Ensayo de CBR.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos



EVALUACIÓN DE LA GENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO- CUSCO

FORMATO PARA EL ENSAYO DE CBR (SUELO SOLO ARCILLOSO C-1)

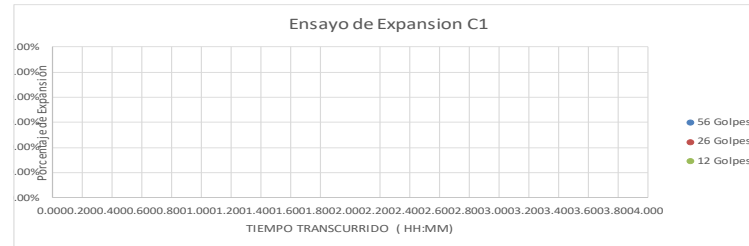
Form fields for data collection: Fecha, Localización, Realizado Por, Calicata N°, and Otros.

Table titled 'SOPORTE CALIFORNIA' with columns for Molde N°, 56 Golpes, 26 Golpes, and 12 Golpes. Rows include various measurements like Número de Capas, Peso del Suelo Seco, and Densidad.

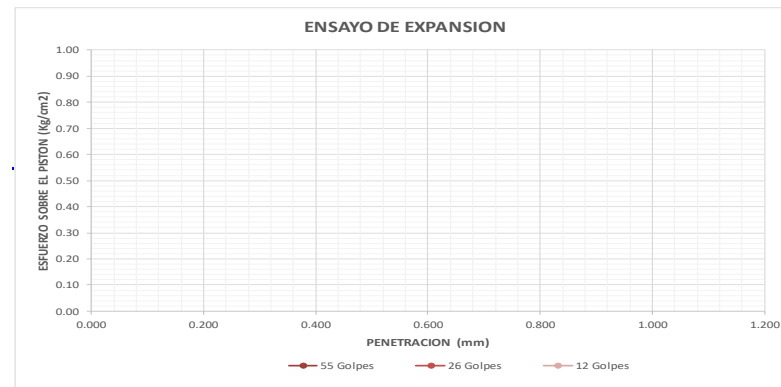
Table with 2 columns: Label (ALTURA DEL MOLDE, AREA DE MOLDE, ALTURA DE LA MUESTRA) and empty input field.



Ensayo de Expansión C1													
Tiempo		56 Golpes				26 Golpes				12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformacion		% de Expansion	Dial (0.001")	Deformacion		% de Expansion	Dial (0.001")	Deformacion		% de Expansion
Dias	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	

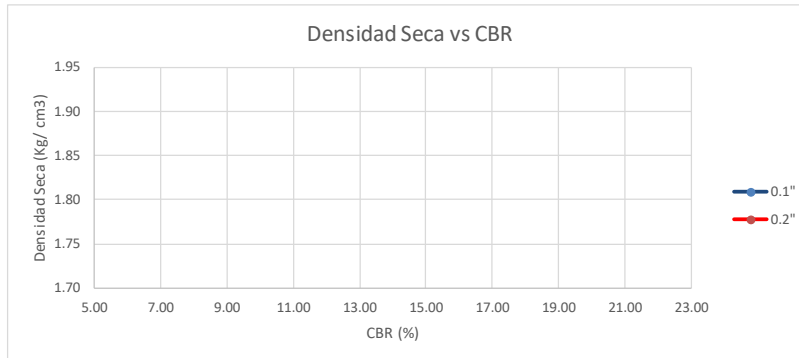


Carga Unitaria Patron (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C1													
	Piston (cm2)≅ 19.35			55 Golpes				26 Golpes				12 Golpes		
	Dial (0.001")	Penetracion mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55				
26				
12				

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM		
CBR al 95% de la DSM		

3.4.2. Instrumentos de ingeniería.



FIGURA 12 Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 01. (Elaboración Propia).



FIGURA 13 Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 02. (Elaboración Propia).



FIGURA 14 Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 03. (Elaboración Propia).



FIGURA 15 Instrumentos para ensayo Límites de Atterberg 03. (Elaboración Propia).



FIGURA 16 Instrumentos para ensayo de Proctor 01. (Elaboración Propia).



FIGURA 17 Instrumentos para ensayo de Proctor 02. (Elaboración Propia).



FIGURA 18 Instrumentos para ensayo de Proctor 03. (Elaboración Propia).



FIGURA 19 Instrumentos para ensayo de CBR de Laboratorio 01. (Elaboración Propia).

3.5. Procedimientos de Recolección de datos

3.5.1. Clasificación SUCS

a) Equipos e Instrumentos.

En la clasificación SUCS no se emplea ningún equipo, solamente se hace uso de las tablas apropiadas.

b) Procedimiento.

Una vez realizado los ensayos de Limite Líquido (LL), Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP), procedemos a hacer uso de las tablas.

c) Toma de Datos.

Tabla 11 Datos correspondientes a la calicata 01 (C – 1).

DATOS DE ENTRADA PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA	C - 1	
PESO INICIAL	100	g
LIMITE LÍQUIDO	38.9	%
PASA EL TAMIZ # 200	83	%
INDICE DE PLASTICIDAD	16.44	%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12 Datos correspondientes a la calicata 02 (C – 2).

DATOS DE ENTRADA PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA	C - 2	
PESO INICIAL	100	g
LIMITE LÍQUIDO	53.6	%
PASA EL TAMIZ # 200	86	%
INDICE DE PLASTICIDAD	27.57	%

Fuente: Elaboración Propia.

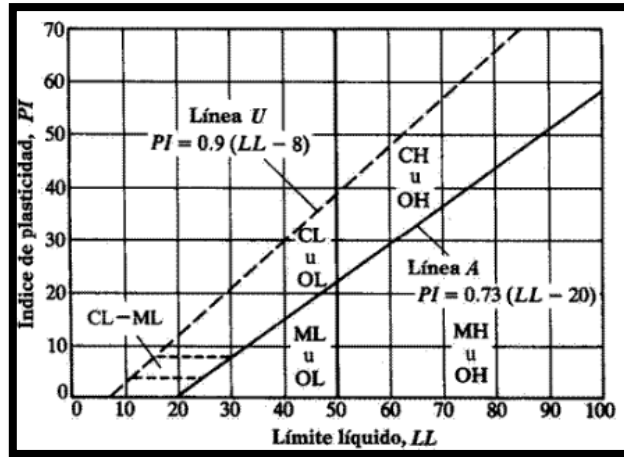


FIGURA 20 Carta de Plasticidad de Casagrande. (Braja 2006, pag.15).

Esta carta de Plasticidad de Casagrande es utilizada en la clasificación SUCS, donde el límite líquido (LL) es colocado en el orden de las abscisas y el Índice de Plasticidad (IP) en el orden de las ordenadas. Del cual, por la ubicación de la intersección de estos dos valores podremos reconocer el tipo de suelo.

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio ^a			Clasificación de suelos		
			Símbolo	Nombre de Grupo ^b	
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias Menos del 5% de finos ^c	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	GW	Grava bien graduada ^f
		Gravas con finos Más del 12% de finos ^c	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	GP GM GC	Grava mal graduada ^f Grava limosa ^{g,h} Grava arcillosa ^{g,h}
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias Menos del 5% de finos ^d	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	SW	Arena bien graduada ⁱ
		Arenas con finos Más del 12% de finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e Los finos se clasifican como ML o MH Los finos se clasifican como CL o CH	SP SM SC	Arena mal graduada ⁱ Arena Limosa ^{g,h,j} Arena Arcillosa ^{g,h,j}
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea ¹ "A" IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea ¹ "A"	CL ML	Arcilla de baja plasticidad (ligera) ^{k,l,m} Limo ^{k,l,m}
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,n} Limo Orgánico ^{k,l,m,o}
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A" IP se grafica debajo de la línea "A"	CH MH	Arcilla de alta plasticidad ^{k,l,m} Limo Orgánico ^{k,l,m}
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,p} Limo Orgánico ^{k,l,m,q}
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico	PT	Turba	

FIGURA 21 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (Braja 2006, pag.15).

3.5.2. Método AASHTO

a) Equipos e Instrumentos.

En la clasificación AASHTO no se emplea ningún equipo, solamente se hace uso de las tablas apropiadas.

b) Procedimiento.

Una vez realizado los ensayos de Limite Liquido (LL), Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP), procedemos a hacer uso de las tablas.

c) Toma de Datos.

Tabla 13 Datos correspondientes a la calicata 01 & 02 (C - 1; C - 2).

Clasificación General		Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa por tamiz N°200)						Suelos Granulares ($>35\%$ pasa por tamiz N°200)				
		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo		A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 **
Del Tamiz N°40	Tamiz N°10	50 max										A-7-6 **
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min								
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max				36 min			
Del Tamiz N°40	LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo de material más común		Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante		Excelente a Buena						Regular a pobre				
** Si: $IP \leq (LL-30)$ es A-7-5						Si el Suelo es NP $\gg IG=0$; Si $IG < 0 \gg IG=0$						
** Si: $IP > (LL-30)$ es A-7-6												

Fuente: (Braja, 2006, pág. 14), Elaboración Propia.

3.5.3. Determinación de Limite Liquido (MTC E 110)

a) Equipos e Instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados en el ensayo de Limite Liquido son:

- Tamiz N°40.
- Probeta de 100 ml.
- Mortero de porcelana.
- Acanalador.
- Cuchara de Casagrande.
- Espátula.
- Horno.

- Balanza, con sensibilidad a 0.01 g.
- Capsulas para muestras.

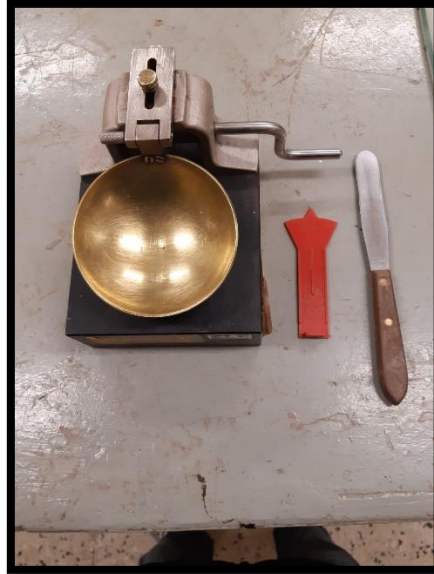


FIGURA 22 Herramientas de Ensayo de LL 01. (Elaboración Propia).



FIGURA 23 Herramientas de Ensayo de LL 02. (Elaboración Propia).

b) Procedimiento.

- a) Preparar la muestra seca, disgregándola con el mortero y pasarlo por la malla No. 40 para así obtener una muestra representativa de aproximadamente unos 250 gr.



- b) Colocar el suelo pasante la malla No. 40 en un recipiente pequeño y añadir unas pequeñas cantidades de agua hasta la muestra se humedezca.
- c) Mezclar con ayuda de una espátula hasta que el color del suelo humedecido sea uniforme, para conseguir una pasta homogénea y pegajosa.
- d) Con ayuda de la espátula, colocar una pequeña cantidad de suelo húmedo en el medio de la copa y después nivelar la superficie.
- e) Pasar el acanalador por el medio de la copa para dividir en dos la pasta de suelo.
- f) Dicha ranura tiene que apreciarse claramente, además de separar completamente en dos la pasta del suelo.
- g) Se debe tener en cuenta que la mayor profundidad de la pasta en la copa de Casagrande debe ser igual a la altura de la cabeza del acanalador ASTM.
- h) Al utilizar la herramienta Casagrande, se tiene que mantener firmemente perpendicular a la superficie de la copa, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea.
- i) Poner en movimiento constante la cazuela con ayuda de la manivela, de manera que se suministre los golpes necesarios para cerrar la ranura en 12.7mm.
- j) Cuando se cierre la ranura de 12.7mm, se registra la cantidad de golpes y se procede a tomar una muestra de la parte central para así determinar el contenido de humedad.



FIGURA 24 Procedimiento limite liquido (LL) 01. (Elaboración Propia).

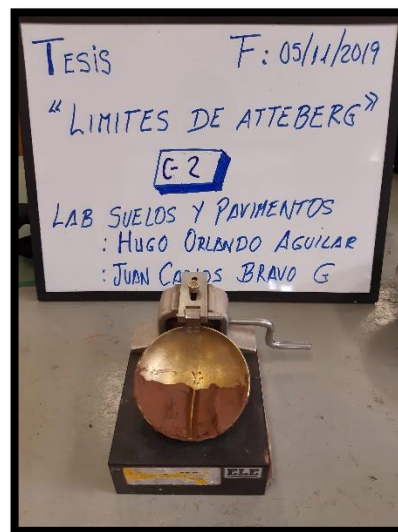


FIGURA 25 Procedimiento limite liquido (LL) 02. (Elaboración Propia).

c) Toma de Datos de ensayo de Limite Liquido.

Tabla 14 Datos de la calicata 01 (Lim. Liquido) Suelo Solo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	17.40	15.40	2.00	11.80	3.50	57.14
C- 1- B	20	17.00	15.40	1.60	11.40	4.00	40.00
C- 1- C	29	16.40	15.00	1.40	11.50	3.50	40.00
C- 1- D	34	18.20	16.50	1.70	11.80	4.90	34.69

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 15 Datos de la calicata 01 (Lim. Liquido) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	18.90	16.25	2.65	11.40	4.85	54.84
C- 1- B	22	16.70	13.30	3.40	4.60	8.70	39.08
C- 1- C	27	17.40	15.80	1.60	11.50	4.30	37.21
C- 1- D	35	17.70	16.10	1.60	11.40	4.70	34.04

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 16 Datos de la calicata 01 (Lim. Liquido) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	16	16.40	14.80	1.60	11.40	3.40	47.06
C- 1- B	23	23.30	20.20	3.10	11.40	8.80	35.23
C- 1- C	29	20.40	18.10	2.30	11.20	6.90	33.33
C- 1- D	35	22.90	20.15	2.75	11.50	8.65	31.79

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 17 Datos de la calicata 01 (Lim. Liquido) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	16.10	14.70	1.40	11.50	3.20	43.75
C- 1- B	23	17.00	15.65	1.35	11.60	4.05	33.33
C- 1- C	26	15.70	14.70	1.00	11.50	3.20	31.25
C- 1- D	32	16.80	15.55	1.25	11.50	4.05	30.86

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 18 Datos de la calicata 02 (Lim. Liquido) Suelo Solo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	18	28.15	25.85	2.30	21.70	4.15	55.42
C- 2- B	22	28.00	25.60	2.40	21.20	4.40	54.55
C- 2- C	27	28.80	26.20	2.60	21.30	4.90	53.06
C- 2- D	30	27.90	25.50	2.40	20.90	4.60	52.17

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 19 Datos de la calicata 02 (Lim. Liquido) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	17	26.10	24.60	1.50	21.70	2.90	51.72
C- 2- B	22	26.90	25.00	1.90	21.20	3.80	50.00
C- 2- C	26	27.00	25.20	1.80	21.30	3.90	46.15
C- 2- D	31	27.90	25.80	2.10	20.90	4.90	42.86

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 20 Datos de la calicata 02 (Lim. Liquido) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	17	28.10	26.00	2.10	21.70	4.30	48.84
C- 2- B	21	28.00	25.90	2.10	21.20	4.70	44.68
C- 2- C	27	28.80	26.55	2.25	21.30	5.25	42.86
C- 2- D	32	28.15	26.15	2.00	20.90	5.25	38.10

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 21 Datos de la calicata 02 (Lim. Liquido) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	18	28.20	26.25	1.95	21.70	4.55	42.86
C- 2- B	22	27.60	25.80	1.80	21.20	4.60	39.13
C- 2- C	27	28.70	26.70	2.00	21.30	5.40	37.04
C- 2- D	33	27.90	26.10	1.80	20.90	5.20	34.62

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 110- 2000, 2000), Elaboración Propia.

3.5.4. Determinación de Limite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) (MTC E 111).

a) Equipos e Instrumentos.

- Tamiz N°40.
- Probeta de 100 ml.
- Horno.

- Balanza, con sensibilidad a 0.01 g.
- Capsulas para muestras.
- Mortero de porcelana.
- Espátula.
- Varilla de 3mm.
- Vidrio esmerilado.



FIGURA 26 Herramientas de Ensayo de LP. (Elaboración Propia).

b) Procedimiento.

- a) Trabajar con el material preparado para el límite líquido, tomando aproximadamente 20gr.
- b) Amasar el suelo y dejar que pierda humedad poco a poco hasta que tenga una consistencia con la cual se pueda enrollar sin que esta se pegue a las manos esparciendo y mezclando continuamente sobre la placa de vidrio esmerilado.
- c) Los rollitos deben ser adelgazados con cada movimiento hasta que su

diámetro disminuya hasta 3.2mm.

- d) Esta prueba continua hasta que los rollitos empiecen a agrietarse y que tiendan a desmoronarse.
- e) Producido el límite plástico se coloca los rollitos en las capsulas seleccionadas y se procede a pesar cada una para determinar el contenido de humedad.
- f) Luego de esto se vuelve a repetir el procedimiento, tomando otra cantidad de suelo.



FIGURA 27 Procedimiento limite Plástico (LP) 01. (Elaboración Propia).



FIGURA 28 Procedimiento limite Plástico (LP) 02. (Elaboración Propia).

c) Toma de Datos de ensayo de Limite Plástico.

Tabla 22 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo Solo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	16.9	16.7	0.20	16.1	0.60	33.333	26.667
C- 1- Y	16.3	16.2	0.10	15.70	0.5	20.000	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 23 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	18.9	18.3	0.60	15.8	2.50	24.000	27.000
C- 1- Y	18.5	17.9	0.60	15.90	2	30.000	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 24 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	8.2	7.8	0.40	4.4	3.40	11.765	23.124
C- 1- Y	6.5	6	0.50	4.55	1.45	34.483	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 25 Datos de la calicata 01 (Lim. Plástico) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	7.4	6.7	0.70	4.5	2.20	31.818	20.597
C- 1- Y	8.1	7.8	0.30	4.60	3.2	9.375	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 26 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo Solo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	6.93	6.32	0.610	3.95	2.37	25.738	26.027
C- 2- Y	6.75	6.15	0.600	3.87	2.28	26.316	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 27 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	6.8	6.32	0.480	3.7	2.62	18.321	20.925
C- 2- Y	6.75	6.15	0.600	3.60	2.55	23.529	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 28 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	7.2	6.8	0.400	3.4	3.4	11.765	18.845
C- 2- Y	6.9	6.2	0.700	3.50	2.7	25.926	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

Tabla 29 Datos de la calicata 02 (Lim. Plástico) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	8.93	8.12	0.810	3.95	4.17	19.424	18.085
C- 2- Y	8.75	8.05	0.700	3.87	4.18	16.746	

Fuente: (Bowles, 1981, pág. 217), (MTC E 111- 2000, 2000), Elaboración Propia.

3.5.5. Ensayo de Compactación - Proctor Modificado, método "A" (MTC E 115).

a) Equipos e Instrumentos.

- Balanza (aprox. a 0.5 g.)
- Horno Eléctrico.
- Tamiz N°04.
- Molde de 4" (101,6 mm.)
- Martillo Compactador.
- Extractor de Muestras.
- Recipientes.
- Pipeta Graduada.
- Recipientes para muestras (08).



FIGURA 29 Herramientas de Proctor Modificado 01.
(Elaboración Propia).



FIGURA 30 Herramientas de Proctor Modificado 02.
(Elaboración Propia).

b) Procedimiento.

- a) Preparar 4 o 5 muestras de 3kg de suelo aproximadamente para cada una.
- b) Humedecer y mezclar uniformemente, cada muestra debe de tener un incremento de humedad constante.
- c) En la primera capa colocada en el molde aplicar los 25 golpes.

- d) Los golpes con el pisón deben ser aplicados en toda el área de manera helicoidal.
- e) Los golpes deben ser aplicados en caída libre, soltando el pisón en el tope.
- f) Igualmente completar las 5 capas del molde.
- g) La última capa se queda en el collarín, de tal manera que luego el collarín pueda enrasarse.
- h) Se enrasa el molde con la regla metálica extrayendo previamente el collarín.
- i) Retirar la base y pesar el suelo + molde.
- j) Luego de ser pesado, se extrae el suelo y se toma una muestra para ponerla en la capsula, como mínimo unos 500gr tomados de la parte central del molde.
- k) Colocar las muestras al horno para determinar la humedad.
- l) Repetir el mismo procedimiento para los moldes sobrantes compactados a contenidos de humedad diferentes.



FIGURA 31 Procedimiento de Proctor Modificado 01. (Elaboración Propia).



FIGURA 32 Procedimiento de Proctor Modificado 02. (Elaboración Propia).



FIGURA 33 Procedimiento de Proctor Modificado 03. (Elaboración Propia).

c) Toma de Datos.

Tabla 30 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo Solo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11	C1-21	C1- 31	-
Peso Hum+(T)	91.94	94.82	93.18	-
Peso SECO+(T)	83.79	85.40	82.04	-
Peso Agua	8.15	9.42	11.14	-
Tara (T)	13.92	19.13	19.31	-
Peso Suelo Seco	69.87	66.27	62.73	-
Contenido de Humedad (w)	11.66	14.21	17.76	-

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 31 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-30	C1-21-30	C1- 31-30	C1- 41-30
Peso Hum+(T)	73.85	80.24	51.67	95.95
Peso SECO+(T)	65.98	70.81	45.38	79.84
Peso Agua	7.87	9.43	6.29	16.11
Tara (T)	17.13	18.84	15.02	17.87
Peso Suelo Seco	48.85	51.97	30.36	61.97
Contenido de Humedad (w)	16.11	18.15	20.72	26.00

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 32 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-40	C1-21-40	C1- 31-40	-
Peso Hum+(T)	92.65	97.44	102.44	-
Peso SECO+(T)	80.69	83.86	85.56	-
Peso Agua	11.96	13.58	16.88	-
Tara (T)	19.41	19.12	16.48	-
Peso Suelo Seco	61.28	64.74	69.08	-
Contenido de Humedad (w)	19.52	20.98	24.44	-

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 33 Datos de la calicata 01 (Proctor Mod.) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-50	C1-21-50	C1- 31-50	C1- 41-50
Peso Hum+(T)	73.45	80.64	54.47	103.51
Peso SECO+(T)	66.26	71.19	47.74	86.51
Peso Agua	7.19	9.45	6.73	17.00
Tara (T)	18.83	19.04	15.62	18.49
Peso Suelo Seco	47.43	52.15	32.12	68.02
Contenido de Humedad (w)	15.16	18.12	20.95	24.99

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 34 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo Solo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11	C2-21	C2- 31	C2- 41
Peso Hum+(T)	101.06	92.49	108.04	95.87
Peso SECO+(T)	90.83	81.46	95.08	81.79
Peso Agua	10.23	11.03	12.96	14.08
Tara (T)	19.47	11.55	19.17	10.85
Peso Suelo Seco	71.36	69.91	75.91	70.94
Contenido de Humedad (w)	14.34	15.78	17.07	19.85

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 35 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-50	C2-21-50	C2- 31-50	C2- 41-50
Peso Hum+(T)	50.32	52.49	66.13	78.97
Peso SECO+(T)	44.82	46.25	58.21	68.59
Peso Agua	5.50	6.24	7.92	10.38
Tara (T)	10.46	10.76	17.24	18.43
Peso Suelo Seco	34.36	35.49	40.97	50.16
Contenido de Humedad (w)	16.01	17.58	19.33	20.69

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 36 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-40	C2-21-40	C2- 31-40	C2- 41-40
Peso Hum+(T)	72.75	85.81	68.62	85.81
Peso SECO+(T)	66.41	76.27	59.87	72.40
Peso Agua	6.34	9.54	8.75	13.41
Tara (T)	19.18	19.22	16.51	13.92
Peso Suelo Seco	47.23	57.05	43.36	58.48
Contenido de Humedad (w)	13.42	16.72	20.18	22.93

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 37 Datos de la calicata 02 (Proctor Mod.) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-50	C2-21-50	C2- 31-50	C2- 41-50
Peso Hum+(T)	48.56	55.05	77.37	75.56
Peso SECO+(T)	43.13	48.37	67.64	65.82
Peso Agua	5.43	6.68	9.73	9.74
Tara (T)	10.48	10.27	18.81	19.05
Peso Suelo Seco	32.65	38.10	48.83	46.77
Contenido de Humedad (w)	16.63	17.53	19.93	20.83

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

3.5.6. Ensayo de CBR de suelos en Laboratorio (MTC E 132).

a) Equipos e Instrumentos.

- Balanza (aprox. a 1.0 g.)
- Balanza (aprox. a 0.1 g.)
- Horno Eléctrico.
- Tamiz N°04.
- Molde de CBR y aditamentos.
- Martillo de Compactación 24.5N.
- Deformímetro de caratula (0.01mm.)
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR.



FIGURA 34 Herramientas de CBR 01. (Elaboración Propia).

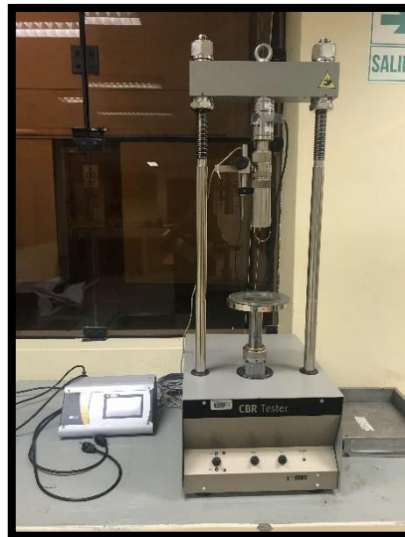


FIGURA 35 Herramientas de CBR 02. (Elaboración Propia).

b) Procedimiento.

- a) Se comienza por preparar la muestra necesaria, el ensayo de proctor modificado debe de haber sido realizado.
- b) Calcular la cantidad suficiente para las tres muestras a realizar.
- c) Los moldes son compactados con el contenido de humedad óptimo obtenido previamente con el ensayo de proctor modificado.
- d) Preparar tres moldes de CBR, colocar las placas de base y colocar un disco espaciador encima de la placa base de cada molde.



- e) Compactar cada molde a diferentes energías de compactación (Numero de golpes de 56, 25 y 10 golpes por capa).
- f) Una vez compactado, enrasar con ayuda de una regla metálica y extraer la placa base.
- g) Girar el molde para que la parte superior quede abajo, retirar el disco espaciador y dejar el espacio para colocar después la sobrecarga.
- h) Fijar nuevamente a la placa base, de esta manera la muestra ya está lista para la etapa de saturación.
- i) Colocar el papel filtro encima de la parte superior de la muestra, situar la placa perforada con el vástago ajustable, además de las pesas de sobrecarga.
- j) Colocar el trípode con el deformimetro sobre el borde del molde y ajustar la placa perforada al vástago, para luego registrar la lectura.
- k) Sumergir el molde en un recipiente con agua y dejarlo así en un lapso de cuatro días. Una vez hecho esto, colocar el soporte del trípode sobre la muestra durante todos los días y anotar las lecturas de la expansión.
- l) Pasado los cuatro días se sacar el molde y dejar que esta se drene durante unos 15 minutos, para luego colocar el molde sobre el soporte de carga de la prensa y ajustar para que el pistón quede debidamente centrado con la muestra.
- m) Colocar el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación en cero.
- n) Registrar cada una de las lecturas de la presión a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas de penetración.
- o) Luego de terminar la prueba, retirar las sobrecargas para que se recupere el suelo ensayado y se procede a tomar una muestra para determinar la humedad final.



- p) Pesar el molde con su base y colocar el collar más el disco espaciador sobre éste, colocar sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, los anillos necesarios equivalentes a la sobrecarga y así producir una presión igual a la inicial en todas las capas de los materiales que tienen que ir encima del suelo.
- q) Aplicar una sobrecarga necesaria para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación, pero no menor de 4.54 kg) para así evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, se recomienda asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, luego llevar el conjunto a la prensa y colocar en el orificio central de la sobrecarga anular, añadir el resto de la sobrecarga, luego se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N para que el pistón asiente.
- r) Situar en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, y el de control de la penetración. Para así evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

c) Toma de Datos.

Tabla 38 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo Solo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C1-55 Golpes		C1-26 Golpes		C1-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	91.9	105.66	82.63	94.8	98.65	115.44
Cápsula + Suelo Seco	81.55	93.1	74.67	81.66	89.16	99.02
Agua	10.35	12.56	7.96	13.14	9.49	16.42
Peso de la Cápsula	13.97	19.12	13.68	11.89	13.97	18.50
Peso del Suelo Seco	67.58	73.98	60.99	69.77	75.19	80.52
Contenido de Humedad	15.32%	16.98%	13.05%	18.83%	12.62%	20.39%
Volumen del molde (cm ³)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	6905		6880		7335	
Peso de Muestra seca (gr)	3950.04		3838.96		3711.55	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11460	11555	11220	11385	11515	11750
Peso del suelo húmedo (gr)	4555	4650	4340	4505	4180	4415
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.14	2.17	2.04	2.10	1.97	2.05
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.86	1.85	1.81	1.79	1.75	1.73

Ensayo de Expansión C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
7	12	29
11	20	35
16	25	41
27	32	51
30	34	52
34	35	54
36	36	55

Ensayo de Penetración C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
12	10	8
19	16	14
38	31	24
51	43	35
65	53	43
78	62	50
100	78	60
142	115	80
176	136	94
208	165	105

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 39 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C1-55 Golpes		C1-26 Golpes		C1-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	80.65	87.35	73.18	80.31	86.23	86.75
Cápsula + Suelo Seco	68.46	73.49	67.28	69.09	74.15	71.32
Agua	12.19	13.86	5.9	11.22	12.08	15.43
Peso de la Cápsula	13.63	17.54	13.27	15.56	13.14	15.68
Peso del Suelo Seco	54.83	55.95	54.01	53.53	61.01	55.64
Contenido de Humedad	22.23%	24.77%	10.92%	20.96%	19.80%	27.73%
Volumen del molde (cm ³)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7376		7772		7651	
Peso de Muestra seca (gr)	3481.08		3291.45		3148.58	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11631	11615	11423	11495	11423	11458
Peso del suelo húmedo (gr)	4255	4239	3651	3723	3772	3807
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.00	1.99	1.72	1.75	1.78	1.79
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.64	1.64	1.55	1.55	1.48	1.48

Ensayo de Expansión C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
1	1	1
1	2	2.5
2	3	4.5
3.5	4.5	5.5
3.5	5	7
3.5	6	8
4	6	9

Ensayo de Penetración C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
37	35	34
75	62	62
117	92	81
152	128	101
192	149	124
223	180	139
278	227	162
417	345	257
502	445	318
589	551	412

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 40 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C1-55 Golpes		C1-26 Golpes		C1-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	81.88	92.81	92.69	80.31	87.01	95.92
Cápsula + Suelo Seco	71	80.76	79.94	69.09	75.4	80.21
Agua	10.88	12.05	12.75	11.22	11.61	15.71
Peso de la Cápsula	13.88	18.22	13.96	16.21	13.88	16.10
Peso del Suelo Seco	57.12	62.54	65.98	52.88	61.52	64.11
Contenido de Humedad	19.05%	19.27%	19.32%	21.22%	18.87%	24.50%
Volumen del molde (cm3)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7350		7540		7445	
Peso de Muestra seca (gr)	3515.40		3276.79		3099.98	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11535	11625	11450	11655	11130	11425
Peso del suelo húmedo (gr)	4185	4275	3910	4115	3685	3980
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.97	2.01	1.84	1.93	1.73	1.87
Densidad Seca (gr/cm3)	1.66	1.65	1.54	1.54	1.46	1.46

Ensayo de Expansión C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
0	1	1
1	2	3
2	3	5
3	5	7
3.5	6	8
4	6.5	9
4	6.5	9

Ensayo de Penetración C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
41	40	40
81	77	74
125	110	95
163	141	119
202	168	134
231	199	148
309	259	170
427	374	201
517	485	243
609	583	274

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 41 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C1-55 Golpes		C1-26 Golpes		C1-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	55		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	79.29	86.38	90.69	92.62	92.04	90.98
Cápsula + Suelo Seco	67.84	73.12	77.43	80.12	78.67	75.29
Agua	11.45	13.26	13.26	12.5	13.37	15.69
Peso de la Cápsula	13.65	18.71	13.93	16.59	13.56	15.99
Peso del Suelo Seco	54.19	54.41	63.5	63.53	65.11	59.30
Contenido de Humedad	21.13%	24.37%	20.88%	19.68%	20.53%	26.46%
Volumen del molde (cm ³)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7130		7185		7190	
Peso de Muestra seca (gr)	3521.03		3255.24		3011.59	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11395	11450	11120	11305	10820	11170
Peso del suelo húmedo (gr)	4265	4320	3935	4120	3630	3980
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.01	2.03	1.85	1.94	1.71	1.87
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.66	1.66	1.53	1.53	1.42	1.41

Ensayo de Expansión C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
1	1	1
2	1.5	2
3	4	7
4	6	9
4	7	11
4	7	11
4	7	11

Ensayo de Penetración C1		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
34	18	14
78	52	49
124	100	79
164	136	99
206	162	116
247	204	135
317	273	164
435	370	190
528	423	217
620	474	242

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 42 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo Solo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C2-56 Golpes		C2-26 Golpes		C2-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	56		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	90.39	103.71	84.71	89.15	106.64	90.30
Cápsula + Suelo Seco	79.69	85.55	74.14	73.3	94.59	72.36
Agua	10.7	18.16	10.57	15.85	12.05	17.94
Peso de la Cápsula	16.5	16.21	11.86	12.02	19.09	16.54
Peso del Suelo Seco	63.19	69.34	62.28	61.28	75.5	55.82
Contenido de Humedad	16.93%	26.19%	16.97%	25.86%	15.96%	32.14%
Volumen del molde (cm3)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7255		7190		7355	
Peso de Muestra seca (gr)	3801.32		3727.40		3466.70	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11700	11865	11550	11730	11375	11750
Peso del suelo húmedo (gr)	4445	4610	4360	4540	4020	4395
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.09	2.10	2.05	2.07	1.89	1.98
Densidad Seca (gr/cm3)	1.79	1.73	1.75	1.70	1.63	1.56

Ensayo de Expansión C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
11	24	75
21	34	85
41	54	105
61	74	125
78	94	142
129	137	198
152	154	210

Ensayo de Penetración C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
5	4	3
10	6	5
12	9	6
15	13	7
17	15	8.5
20	17	9
23	21	10
30	27	13
38	33	15
40	38	16

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 43 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C2-55 Golpes		C2-26 Golpes		C2-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	56		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	85.16	97.45	79.28	86.25	84.63	90.56
Cápsula + Suelo Seco	75.47	67.86	68.13	75.45	74.24	78.23
Agua	9.69	29.59	11.15	10.8	10.39	12.33
Peso de la Cápsula	14.82	15.34	13.69	14.27	16.65	15.43
Peso del Suelo Seco	60.65	52.52	54.44	61.18	57.59	62.80
Contenido de Humedad	15.98%	56.34%	20.48%	17.65%	18.04%	19.63%
Volumen del molde (cm ³)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7354		7268		7351	
Peso de Muestra seca (gr)	3611.93		3452.82		3402.20	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11543	11675	11428	11532	11367	11624
Peso del suelo húmedo (gr)	4189	4321	4160	4264	4016	4273
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.97	1.98	1.96	1.94	1.89	1.92
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.70	1.66	1.63	1.57	1.60	1.53

Ensayo de Expansión C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
9	15	28
23	35	40
38	57	61
59	89	107
73	109	132
100	130	175
126	159	208

Ensayo de Penetración C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
35	21	20
60	43	27
80	62	39
106	82	59
130	94	73
150	126	109
189	157	125
200	174	143
230	186	167
260	225	186

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 44 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C2-55 Golpes		C2-26 Golpes		C2-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	56		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	78.46	81.81	61.37	82.1	65.1	90.00
Cápsula + Suelo Seco	67.81	69.61	52.71	70.74	56.59	75.2
Agua	10.65	12.2	8.66	11.36	8.51	14.8
Peso de la Cápsula	19.03	13.89	11.46	19.37	18.21	16.09
Peso del Suelo Seco	48.78	55.72	41.25	51.37	38.38	59.11
Contenido de Humedad	21.83%	21.90%	20.99%	22.11%	22.17%	25.04%
Volumen del molde (cm3)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7045		6870		7095	
Peso de Muestra seca (gr)	3529.43		3339.01		3048.96	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11345	11465	10910	11175	10820	11185
Peso del suelo húmedo (gr)	4300	4420	4040	4305	3725	4090
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.02	2.07	1.90	2.01	1.75	1.90
Densidad Seca (gr/cm3)	1.66	1.66	1.57	1.56	1.44	1.42

Ensayo de Expansión C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
8	18	40
10	20	45
12	23	52
13	25	60
13	27	62
14	40	65
14	40	65

Ensayo de Penetración C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
56	40	27
115	84	54
175	124	76
224	155	93
268	182	110
305	208	124
370	245	145
467	315	178
553	375	198
634	437	223

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

Tabla 45 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

SOPORTE CALIFORNIA						
Molde N°	C2-55 Golpes		C2-26 Golpes		C2-12 Golpes	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpes por capa	56		26		12	
Condición de la Muestra	CHO	Saturada	CHO	Saturada	CHO	Saturada
Cápsula N°	C-1-56-1	C-1-56-2	C-1-26-1	C-1-26-2	C-1-12-1	C-1-12-2
Cápsula + Suelo Húmedo	86.5	102.7	93.52	99.95	96.05	104.10
Cápsula + Suelo Seco	74.37	88.1	81.38	84.47	83.73	85.77
Agua	12.13	14.6	12.14	15.48	12.32	18.33
Peso de la Cápsula	11.89	13.89	18.71	14.03	20.05	13.68
Peso del Suelo Seco	62.48	74.21	62.67	70.44	63.68	72.09
Contenido de Humedad	19.41%	19.67%	19.37%	21.98%	19.35%	25.43%
Volumen del molde (cm3)	2123.92		2123.92		2123.92	
Peso del molde (gr)	7115		7105		6780	
Peso de Muestra seca (gr)	3521.36		3468.17		3267.79	
Peso de molde + suelo húmedo (gr)	11320	114445	11245	11445	10680	11005
Peso del suelo húmedo (gr)	4205	107330	4140	4340	3900	4225
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.98	50.43	1.95	2.04	1.84	1.97
Densidad Seca (gr/cm3)	1.66	1.65	1.63	1.63	1.54	1.53

Ensayo de Expansión C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
1	3	19
2	6	28
4	9	32
6	11	36
8	12.5	37
9	13	38
9	13	38

Ensayo de Penetración C2		
Dial 55 Golpes (0.001")	Dial 26 Golpes (0.001")	Dial 12 Golpes (0.001")
0	0	0
54	25	42
123	83	90
185	145	108
246	200	138
305	249	164
352	297	184
436	377	222
580	497	263
670	549	292
690	589	300

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

3.6. Procedimiento de Análisis de Datos.

3.6.1. Clasificación de Suelos.

3.6.1.1. Procesamiento y Cálculos Método AASTHO y SUCS.

Tabla 46 Clasificación de Suelo de la calicata 01

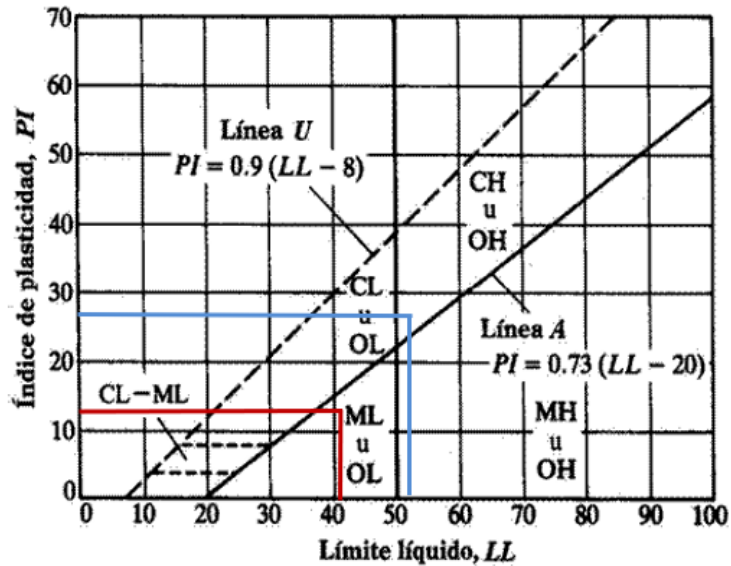
DATOS DE ENTRADA PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA	C - 1	
PESO INICIAL	100	g
LIMITE LÍQUIDO	42.1	%
PASA EL TAMIZ # 200	83	%
INDICE DE PLASTICIDAD	15.43	%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
AASHTO	A - 6 - Suelo Arcilloso
SUCS	CL - Arcilla de baja Plasticidad (ligera)

Tabla 47 Clasificación de Suelo de la calicata 02

DATOS DE ENTRADA PARA LA CLASIFICACIÓN		
CALICATA	C - 2	
PESO INICIAL	100	g
LIMITE LÍQUIDO	53.2	%
PASA EL TAMIZ # 200	86	%
INDICE DE PLASTICIDAD	27.12	%

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
AASHTO	A - 6 - Suelo Arcilloso
SUCS	CH - Arcilla de alta plasticidad



De acuerdo a la Carta de Plasticidad de Casagrande	—	Calicata 01
	—	Calicata 02

FIGURA 36 Ubicación de los suelos en la Carta de Plasticidad de Casagrande. (Elaboración Propia).

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio ^a				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo ^b
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas	Gravas Limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	GW	Grava bien graduada ^f
		Menos del 5% de finos ^c	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e	GP	Grava mal graduada ^f
	Arenas	Gravas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa ^{g,h}
		Más del 12% de finos ^c	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa ^{g,h}
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) ^{k,l,m}
		Orgánicos	IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo ^{k,l,m}
	Limos y Arcillas	Inorgánicos	Límite Líquido menor que 50	OL	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,o}
		Orgánicos	Límite Líquido no secado < 0.75	OH	Limo Orgánico ^{k,l,m,p}
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{k,l,m}
		Orgánicos	IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico ^{k,l,m}
			Límite Líquido secado en horno < 0.75	OH	Arcilla Orgánica ^{k,l,m,p}
			Límite Líquido no secado < 0.75	OH	Limo Orgánico ^{k,l,m,q}
				PT	Turba

^a Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg)
^b Si la muestra de campo contiene guijarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.
^c Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.
^d Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.
^e $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
^f Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena añada con arena al grupo.
^g Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.
^h Si los finos son orgánicos añadalo al nombre de grupo.
ⁱ Si el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava añada con grava al grupo.
^j Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada, el suelo es un arcilla limosa CL-ML.
^k Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añada con arena o con grava, el que sea predominante.
^l Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añada "arenoso" al nombre de grupo.
^m Si el suelo contiene $\geq 30\%$ mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añada "gravoso" al nombre de grupo.
ⁿ IP ≥ 4 y se grafica en o arriba de la línea A.
^o IP < 4 y se grafica debajo de la línea A.
^p IP se grafica en o arriba de la línea A.
^q IP se grafica debajo de la línea A.

Según SUCS	—	Calicata 01	CL	Arcilla de baja Plasticidad (ligera)
	—	Calicata 02	CH	Arcilla de alta plasticidad

FIGURA 37 Ubicación de los suelos para la Clasificación según SUCS. (Elaboración Propia).

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa por tamiz N°200)							Suelos Granulares ($>35\%$ pasa por tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 ** A-7-6 **
(% que pasa)	Tamiz N°10	50 max									
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min							
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max			36 min			
Del Tamiz N°40	LL			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante	Excelente a Buena							Regular a pobre			
** Si: $IP \leq (LL-30)$ es A-7-5							Si el Suelo es NP $\gg IG=0$; Si $IG < 0 \gg IG=0$				
** Si: $IP > (LL-30)$ es A-7-6											

			Clasificación General	Tipo de Material más Común	Calificación de la Subrasante
Según AASHTO	—	Calicata 01	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre
	—	Calicata 02	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre

FIGURA 38 Ubicación de los suelos para la Clasificación según AASTHO. (Elaboración Propia).

3.6.1.2. Análisis de la Prueba.

En el caso de la primera muestra de suelo Arcilloso, según la clasificación AASHTO, está en el grupo de A – 6, Suelo Arcilloso (Regular a Pobre) y según la clasificación SUCS es una Arcilla de Baja Plasticidad (ligera), en la segunda muestra de suelo Arcilloso, según la clasificación AASHTO, está en el grupo de A – 6, Suelo Arcilloso (Regular a Pobre) y según la clasificación SUCS es una Arcilla de Alta Plasticidad.

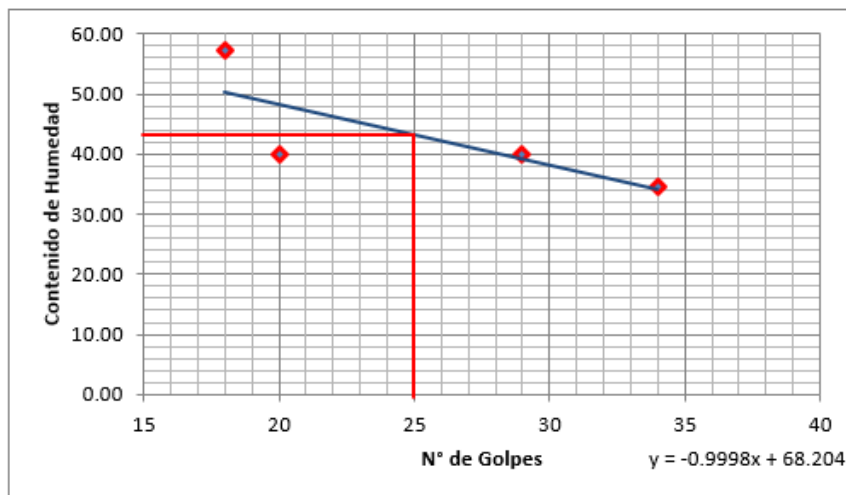
3.6.2. Límite Líquido.

3.6.2.1. Procesamiento y Cálculos.

a) Calicata 01 - Suelo Solo.

Tabla 48 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo Solo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	17.40	15.40	2.00	11.90	3.50	57.14
C- 1- B	20	17.00	15.40	1.60	11.40	4.00	40.00
C- 1- C	29	16.40	15.00	1.40	11.50	3.50	40.00
C- 1- D	34	18.20	16.50	1.70	11.60	4.90	34.69



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 42.1

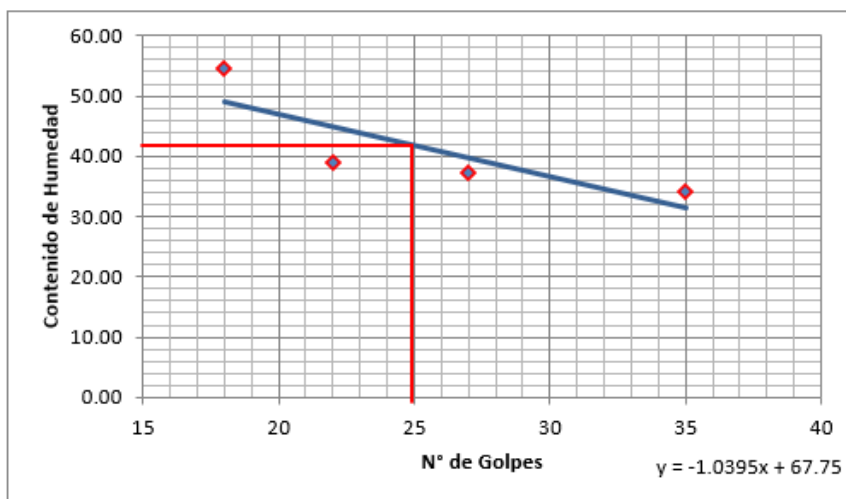
Por ecuación - Límite Líquido: 43.209

Fuente: Elaboración Propia.

b) Calicata 01 Suelo más 30% de Ceniza de fondo.

Tabla 49 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	18.90	16.25	2.65	11.40	4.85	54.64
C- 1- B	22	16.70	13.30	3.40	4.60	8.70	39.08
C- 1- C	27	17.40	15.80	1.60	11.50	4.30	37.21
C- 1- D	35	17.70	16.10	1.60	11.40	4.70	34.04



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 41.8

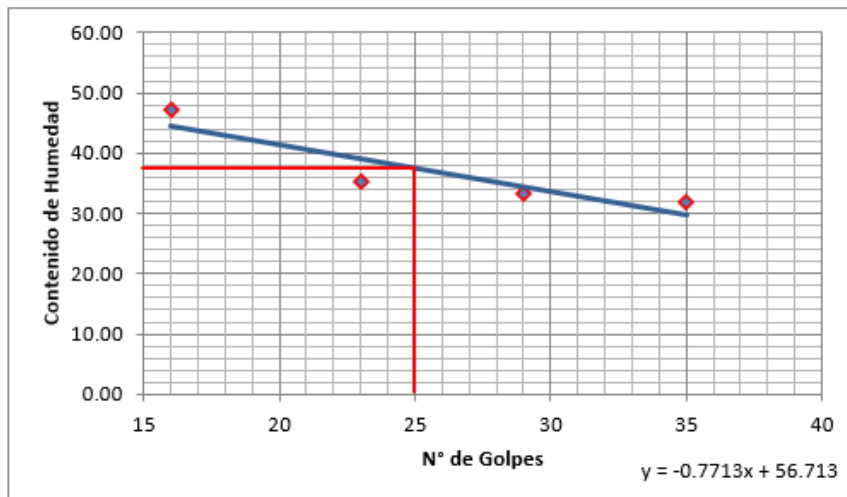
Por ecuación - Límite Líquido: 41.7625

Fuente: Elaboración Propia.

c) Calicata 01 Suelo más 40% de Ceniza de fondo.

Tabla 50 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	16	16.40	14.80	1.60	11.40	3.40	47.06
C- 1- B	23	23.30	20.20	3.10	11.40	8.80	35.23
C- 1- C	29	20.40	18.10	2.30	11.20	6.90	33.33
C- 1- D	35	22.90	20.15	2.75	11.50	8.65	31.79



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 37.4

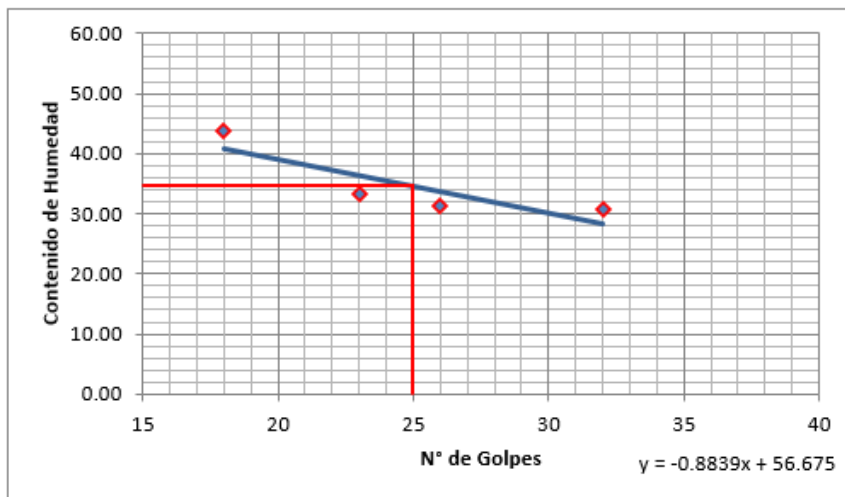
Por ecuación - Límite Líquido: 37.4305

Fuente: Elaboración Propia.

d) Calicata 01 Suelo más 50% de Ceniza de fondo.

Tabla 51 Limite Liquido de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 1- A	18	16.10	14.70	1.40	11.50	3.20	43.75
C- 1- B	23	17.00	15.65	1.35	11.60	4.05	33.33
C- 1- C	26	15.70	14.70	1.00	11.50	3.20	31.25
C- 1- D	32	16.80	15.55	1.25	11.50	4.05	30.86



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 34.6

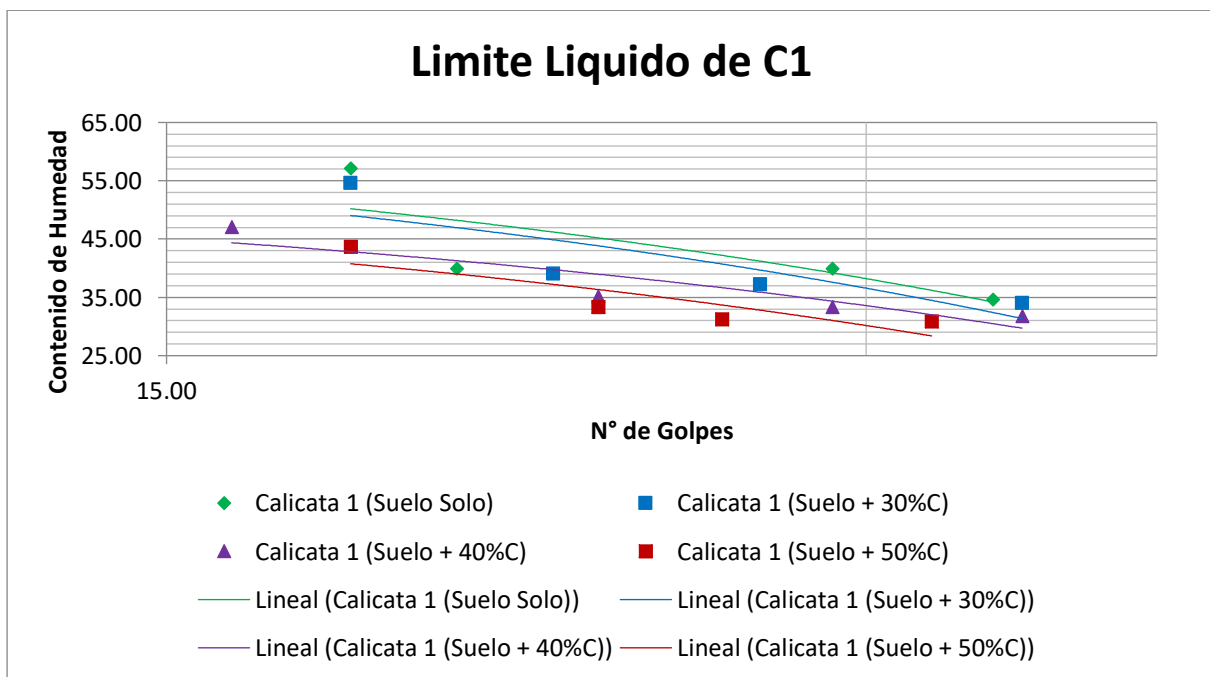
Por ecuación - Límite Líquido: 34.5775

Fuente: Elaboración Propia.

e) Calicata 01 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de fondo.

Tabla 52 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.

Calicata 1 (Suelo Solo)		Calicata 1 (Suelo + 30%C)	
Numero de Golpes	% de Humedad	Numero de Golpes	% de Humedad
18.00	57.14	18.00	54.64
20.00	40.00	22.00	39.08
29.00	40.00	27.00	37.21
34.00	34.69	35.00	34.04
Calicata 1 (Suelo + 40%C)		Calicata 1 (Suelo + 50%C)	
Numero de Golpes	% de Humedad	Numero de Golpes	% de Humedad
16.00	47.06	18.00	43.75
23.00	35.23	23.00	33.33
29.00	33.33	26.00	31.25
35.00	31.79	32.00	30.86



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2.2. Análisis de Prueba.

Como se puede observar en los resultados mostrados arriba, el límite líquido baja significativamente.

CALICATA N°1	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	42.10	41.80	37.40	34.60

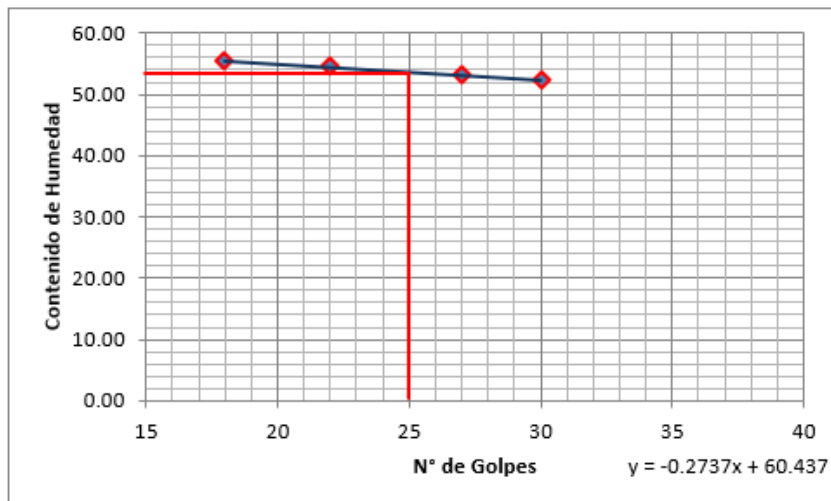
Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2.3. Procesamiento y Cálculos.

a) Calicata 02 Suelo Solo.

Tabla 53 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo Solo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	18	28.15	25.85	2.30	21.70	4.15	55.42
C- 2- B	22	28.00	25.60	2.40	21.20	4.40	54.55
C- 2- C	27	28.80	26.20	2.60	21.30	4.90	53.06
C- 2- D	30	27.90	25.50	2.40	20.90	4.60	52.17



Del Gráfico Limite Liquido (LL) = 53.15

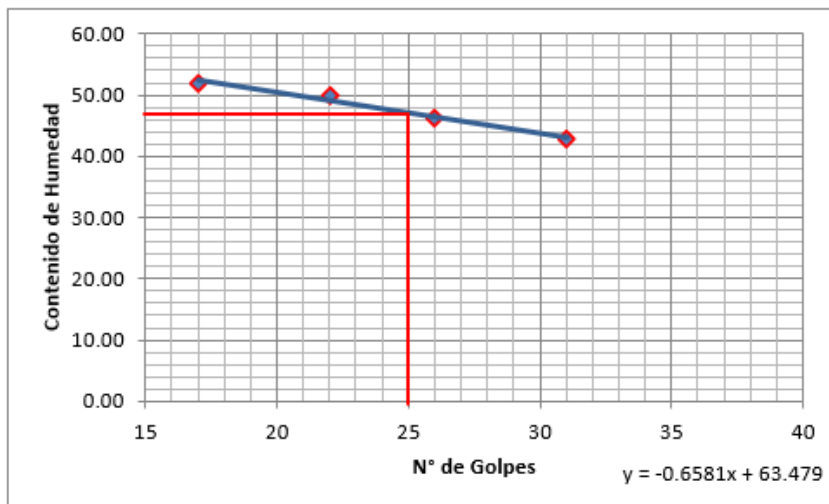
Por ecuación - Limite Liquido: 53.59

Fuente: Elaboración Propia.

b) Calicata 02 Suelo más 30% de Ceniza de fondo.

Tabla 54 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	17	26.10	24.60	1.50	21.70	2.90	51.72
C- 2- B	22	26.90	25.00	1.90	21.20	3.80	50.00
C- 2- C	26	27.00	25.20	1.80	21.30	3.90	46.15
C- 2- D	31	27.90	25.80	2.10	20.90	4.90	42.86



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 47

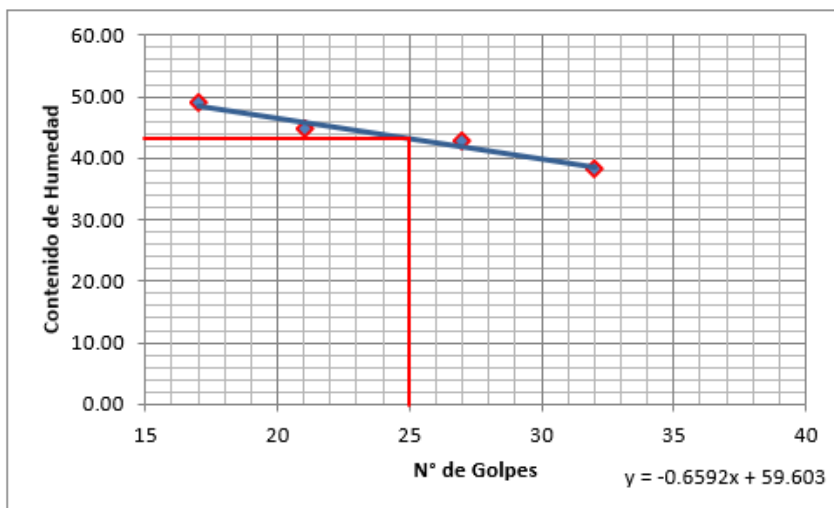
Por ecuación - Límite Líquido: 47.03

Fuente: Elaboración Propia.

c) Calicata 02 Suelo más 40% de Ceniza de fondo.

Tabla 55 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	17	28.10	26.00	2.10	21.70	4.30	48.84
C- 2- B	21	28.00	25.90	2.10	21.20	4.70	44.68
C- 2- C	27	28.80	26.55	2.25	21.30	5.25	42.86
C- 2- D	32	28.15	26.15	2.00	20.90	5.25	38.10



Del Gráfico Límite Líquido (LL) = 43.12

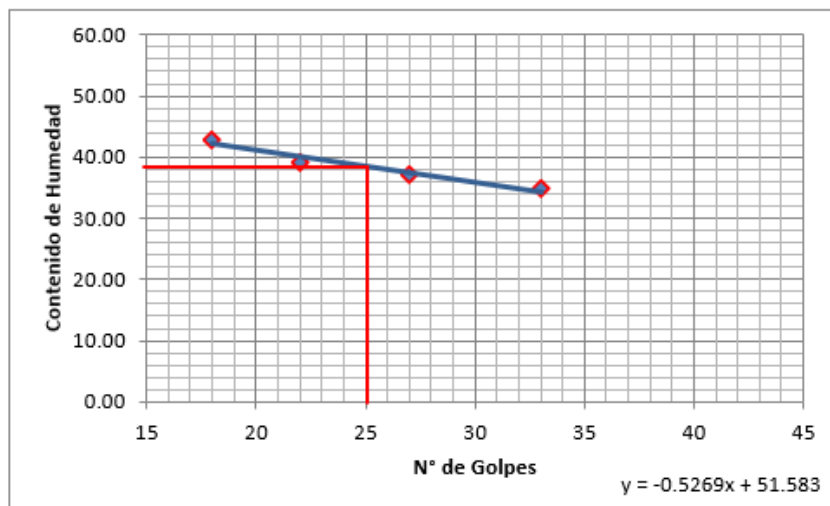
Por ecuación - Límite Líquido: 43.12

Fuente: Elaboración Propia.

d) Calicata 02 Suelo más 50% de Ceniza de fondo.

Tabla 56 Limite Liquido de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE LIQUIDO							
Número Tara	Nº golpes	Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	Y = %Humedad
C- 2- A	18	28.20	26.25	1.95	21.70	4.55	42.86
C- 2- B	22	27.60	25.80	1.80	21.20	4.60	39.13
C- 2- C	27	28.70	26.70	2.00	21.30	5.40	37.04
C- 2- D	33	27.90	26.10	1.80	20.90	5.20	34.62



Del Gráfico Limite Líquido (LL) = 38.4

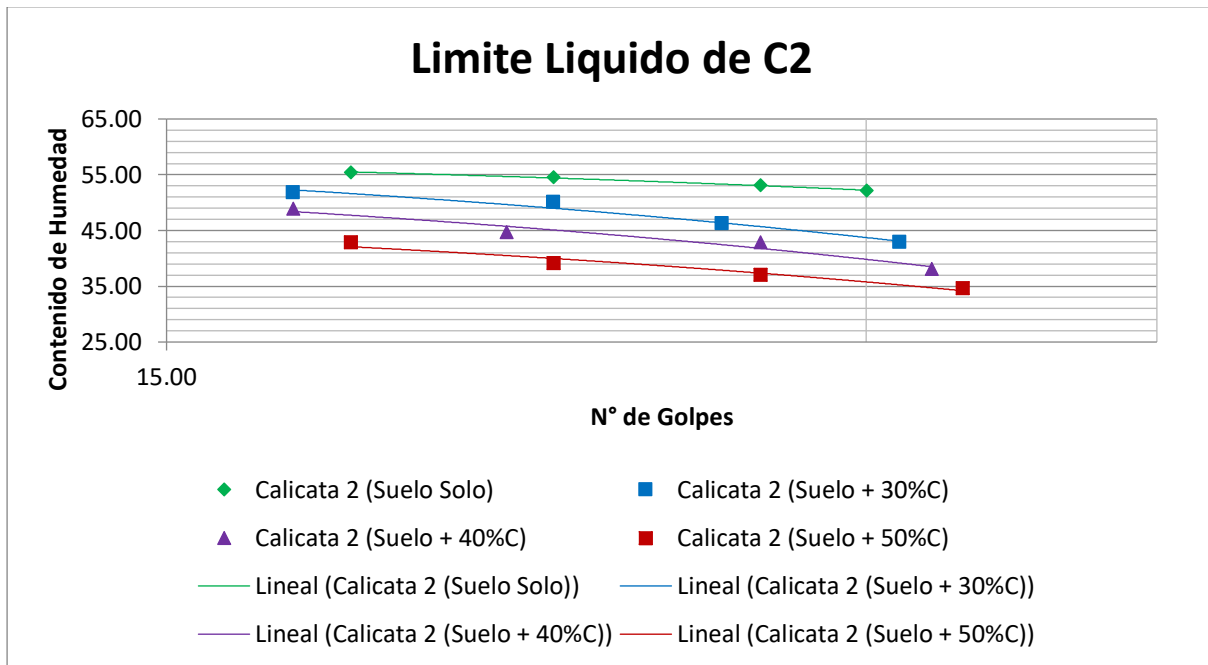
Por ecuación - Limite Líquido: 38.41

Fuente: Elaboración Propia.

e) Calicata 02 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de fondo.

Tabla 57 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.

Calicata 2 (Suelo Solo)		Calicata 2 (Suelo + 30%C)	
Numero de Golpes	% de Humedad	Numero de Golpes	% de Humedad
18.00	55.42	17.00	51.72
22.00	54.55	22.00	50.00
27.00	53.06	26.00	46.15
30.00	52.17	31.00	42.86
Calicata 2 (Suelo + 40%C)		Calicata 2 (Suelo + 50%C)	
Numero de Golpes	% de Humedad	Numero de Golpes	% de Humedad
17.00	48.84	18.00	42.86
21.00	44.68	22.00	39.13
27.00	42.86	27.00	37.04
32.00	38.10	33.00	34.62



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2.4. Análisis de Prueba.

Como se puede observar en los resultados mostrados arriba, el límite líquido baja significativamente.

CALICATA N°2	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	53.15	47.00	43.12	38.40

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3. Límite Plástico.

3.6.3.1. Procesamiento y Cálculos

a) Calicata 01 Suelo Solo.

Tabla 58 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo Solo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	16.9	16.7	0.20	16.1	0.60	33.333	26.667
C- 1- Y	16.3	16.2	0.10	15.70	0.5	20.000	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) = 42.10
 Límite Plástico (LP) = 26.67
 Índice de Plasticidad (IP) = 15.43

b) Calicata 01 Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

Tabla 59 Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	18.9	18.3	0.60	15.8	2.50	24.000	27.000
C- 1- Y	18.5	17.9	0.60	15.90	2	30.000	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) = 41.80
 Límite Plástico (LP) = 27.00
 Índice de Plasticidad (IP) = 14.80

c) Calicata 01 Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.**Tabla 60** Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	8.2	7.8	0.40	4.4	3.40	11.765	23.124
C- 1- Y	6.5	6	0.50	4.55	1.45	34.483	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	37.40
Límite Plástico (LP) =	23.12
Índice de Plasticidad (IP) =	14.28

d) Calicata 01 Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.**Tabla 61** Limite Plástico de la Calicata 01- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 1- X	7.4	6.7	0.70	4.5	2.20	31.818	20.597
C- 1- Y	8.1	7.8	0.30	4.60	3.2	9.375	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	34.60
Límite Plástico (LP) =	20.60
Índice de Plasticidad (IP) =	14.00

e) Calicata 01 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 62 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.

SUELO SOLO						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
16.9	16.7	0.20	16.1	0.60	33.333	26.667
16.3	16.2	0.10	15.70	0.5	20.000	

SUELO + 30%C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
18.9	18.3	0.60	15.8	2.50	24.000	27.000
18.5	17.9	0.60	15.90	2	30.000	

SUELO + 40%C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
8.2	7.8	0.40	4.4	3.40	11.765	23.124
6.5	6	0.50	4.55	1.45	34.483	

SUELO + 50%C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
7.4	6.7	0.70	4.5	2.20	31.818	20.597
8.1	7.8	0.30	4.60	3.2	9.375	

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3.2. Análisis de Prueba.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el límite plástico baja a medida que el porcentaje de ceniza aumenta. En un inicio se observa que el límite plástico es de 26.667%, luego añadirle ceniza de fondo al 50% bajo a 20.597%.

3.6.3.3. Procesamiento y Cálculos

a) Calicata 02 Suelo Solo.

Tabla 63 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo Solo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	6.93	6.32	0.610	3.95	2.37	25.738	26.027
C- 2- Y	6.75	6.15	0.600	3.87	2.28	26.316	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	53.15
Límite Plástico (LP) =	26.03
Índice de Plasticidad (IP) =	27.12

b) Calicata 02 Suelo más 30% de ceniza de Fondo.

Tabla 64 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	6.8	6.32	0.480	3.7	2.62	18.321	20.925
C- 2- Y	6.75	6.15	0.600	3.60	2.55	23.529	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	47.00
Límite Plástico (LP) =	20.93
Índice de Plasticidad (IP) =	26.07



c) Calicata 02 Suelo más 40% de ceniza de Fondo.

Tabla 65 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	7.2	6.8	0.400	3.4	3.4	11.765	18.845
C- 2- Y	6.9	6.2	0.700	3.50	2.7	25.926	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	43.12
Límite Plástico (LP) =	18.85
Índice de Plasticidad (IP) =	24.27

d) Calicata 02 Suelo más 50% de ceniza de Fondo.

Tabla 66 Limite Plástico de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

LIMITE PLASTICO							
Número Tara	Total Peso Húmedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
C- 2- X	8.93	8.12	0.810	3.95	4.17	19.424	18.085
C- 2- Y	8.75	8.05	0.700	3.87	4.18	16.746	

Fuente: Elaboración Propia.

Límite Líquido (LL) =	38.40
Límite Plástico (LP) =	18.09
Índice de Plasticidad (IP) =	20.31

e) Calicata 02 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 67 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.

SUELO SOLO						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
6.93	6.32	0.610	3.95	2.37	25.738	26.027
6.75	6.15	0.600	3.87	2.28	26.316	

SUELO + 30% C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
6.8	6.32	0.480	3.7	2.62	18.321	20.925
6.75	6.15	0.600	3.60	2.55	23.529	

SUELO + 50% C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
7.2	6.8	0.400	3.4	3.4	11.765	18.845
6.9	6.2	0.700	3.50	2.7	25.926	

SUELO + 50% C						
Total Peso Humedo +(T)	Total Peso SECO +(T)	Peso Agua	Tara (T)	Muestra PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	LIMITE PLASTICO %
8.93	8.12	0.810	3.95	4.17	19.424	18.085
8.75	8.05	0.700	3.87	4.18	16.746	

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3.4. Análisis de Prueba.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el límite plástico baja a medida que el porcentaje de ceniza aumenta. En un inicio se observa que el límite plástico es de 26.0.27%, luego añadirle ceniza de fondo al 50% bajo a 18.085%.

3.6.4. Índice de plasticidad.

3.6.4.1. Procesamiento y Cálculos.

Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

Donde

$$I_p = Ll - L_p$$

- I_p : es el índice plástico.
- Ll : es el límite líquido.
- L_p : es el límite plástico

Tabla 68 Comparativa de resultados del Índice de Plasticidad de la Calicata 01.

	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	42.10	41.80	37.40	34.60
Límite Plást. (LP) =	26.67	27.00	23.12	20.60
Índice de Plást. (IP) =	15.43	14.80	14.28	14.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 69 Comparativa de resultados del Índice de Plasticidad de la Calicata 02.

	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	53.15	47.00	43.12	38.40
Límite Plást. (LP) =	26.03	20.93	18.85	18.09
Índice de Plást. (IP) =	27.12	26.07	24.27	20.31

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.4.2. Análisis de prueba.

Se observa en los resultados obtenidos, que el índice de plasticidad baja a medida que el porcentaje de ceniza aumenta. Después de realizar la estabilización con 50% de ceniza de fondo el índice de plasticidad bajo de 27.12% a 20.31%.



3.6.5. Proctor Modificado

3.6.5.1. Procesamiento y Cálculos.

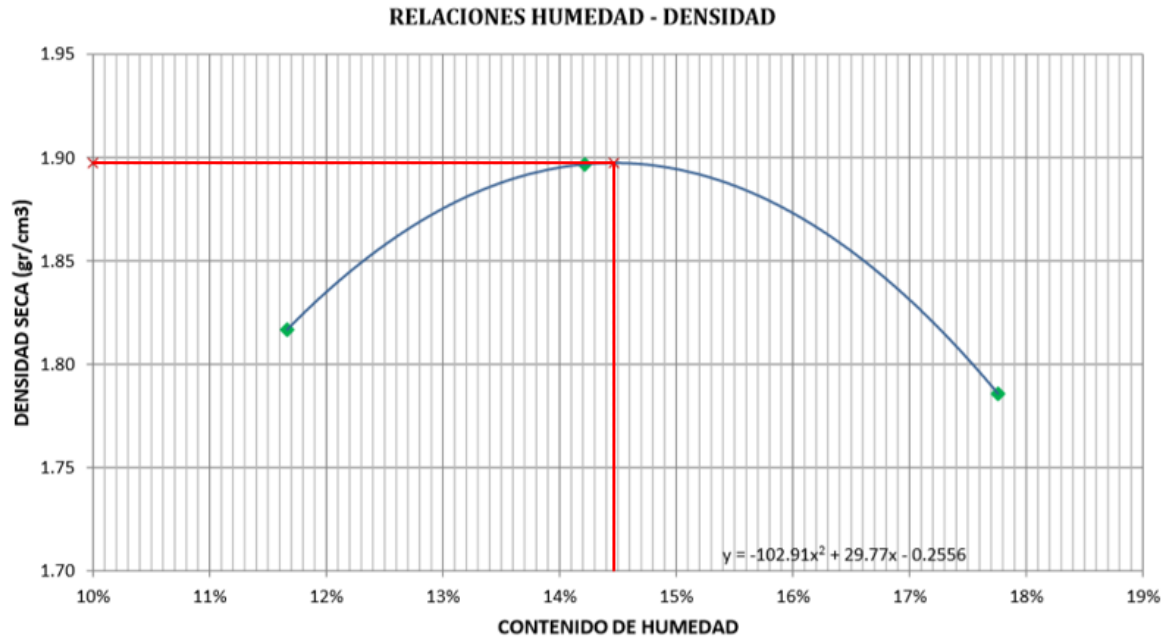
a) Calicata 01 - Suelo Solo.

Tabla 70 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo Solo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11	C1-21	C1- 31	-
Peso Hum+(T)	91.94	94.82	93.18	-
Peso SECO+(T)	83.79	85.40	82.04	-
Peso Agua	8.15	9.42	11.14	-
Tara (T)	13.92	19.13	19.31	-
Peso Suelo Seco	69.87	66.27	62.73	-
Contenido de Humedad (w)	11.66	14.21	17.76	-

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		943.96	cm3
		Peso del Molde:		3580	g
Contenido de Humedad (wm)	11.66	14.21	17.76	-	-
Peso de Suelo+Molde (gr)	5495.00	5625.00	5565.00	-	-
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1915.00	2045.00	1985.00	-	-
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.03	2.17	2.10	-	-
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.82	1.90	1.79	-	-

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	14.46
--	-------

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.9
--------------------------------------	-----

3.6.5.1.1. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 14.46 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.9 (kN/m3).

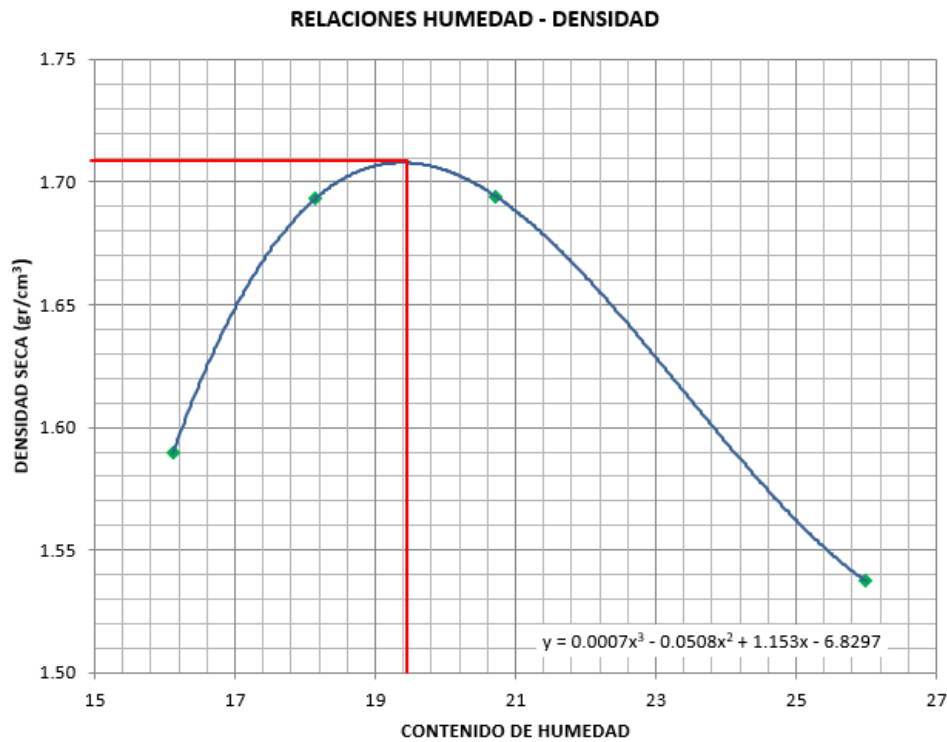
b) Calicata 01 - Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

Tabla 71 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-30	C1-21-30	C1- 31-30	C1- 41-30
Peso Hum+(T)	73.85	80.24	51.67	95.95
Peso SECO+(T)	65.98	70.81	45.38	79.84
Peso Agua	7.87	9.43	6.29	16.11
Tara (T)	17.13	18.84	15.02	17.87
Peso Suelo Seco	48.85	51.97	30.36	61.97
Contenido de Humedad (w)	16.11	18.15	20.72	26.00

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:	961.78 cm3	
		Peso del Molde:	3652 g	
Contenido de Humedad (wm)	16.11	18.15	20.72	26.00
Peso de Suelo+Molde (gr)	5427.00	5576.00	5619.00	5515.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1775.00	1924.00	1967.00	1863.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.85	2.00	2.05	1.94
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.59	1.69	1.69	1.54

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	19.3
---------------------------------	------

Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	1.71
---	------

3.6.5.1.2. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 19.3 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.71 (kN/m³).



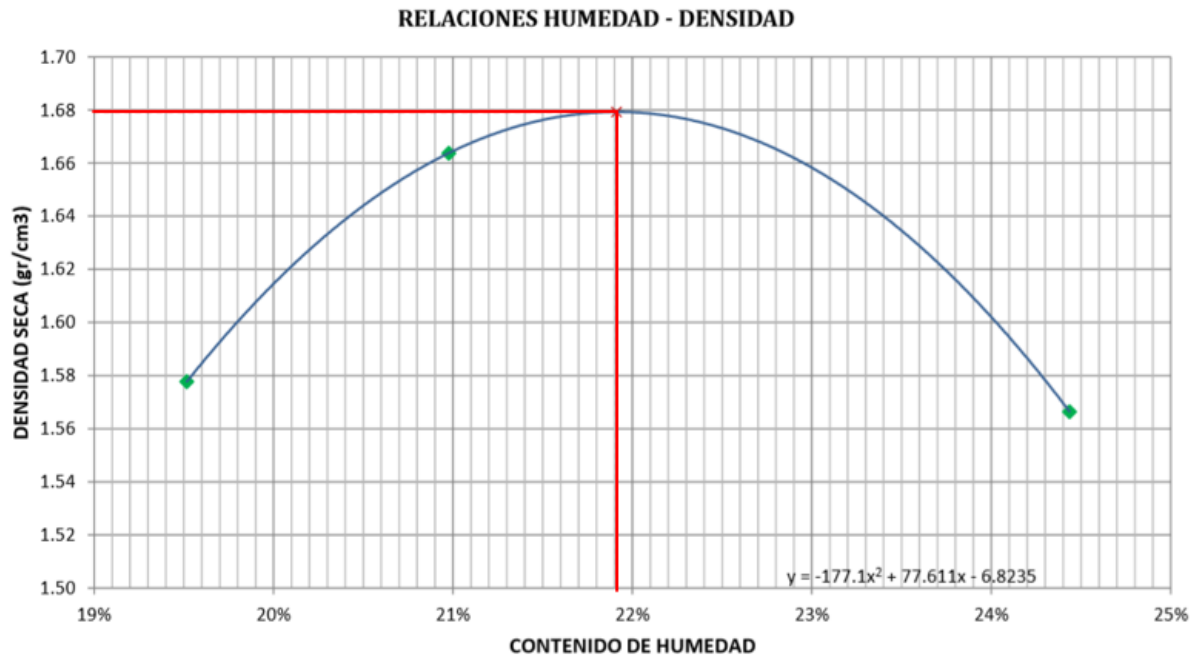
c) Calicata 01 - Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

Tabla 72 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-40	C1-21-40	C1- 31-40	-
Peso Hum+(T)	92.65	97.44	102.44	-
Peso SECO+(T)	80.69	83.86	85.56	-
Peso Agua	11.96	13.58	16.88	-
Tara (T)	19.41	19.12	16.48	-
Peso Suelo Seco	61.28	64.74	69.08	-
Contenido de Humedad (w)	19.52	20.98	24.44	-

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		943.96	cm3
		Peso del Molde:		3665	g
Contenido de Humedad (wm)	19.52	20.98	24.44	-	-
Peso de Suelo+Molde (gr)	5445.00	5565.00	5505.00	-	-
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1780.00	1900.00	1840.00	-	-
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.89	2.01	1.95	-	-
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.58	1.66	1.57	-	-

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	21.91
---------------------------------	-------

Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	1.68
---	------

3.6.5.1.3. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 21.92 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.68 (kN/m³).

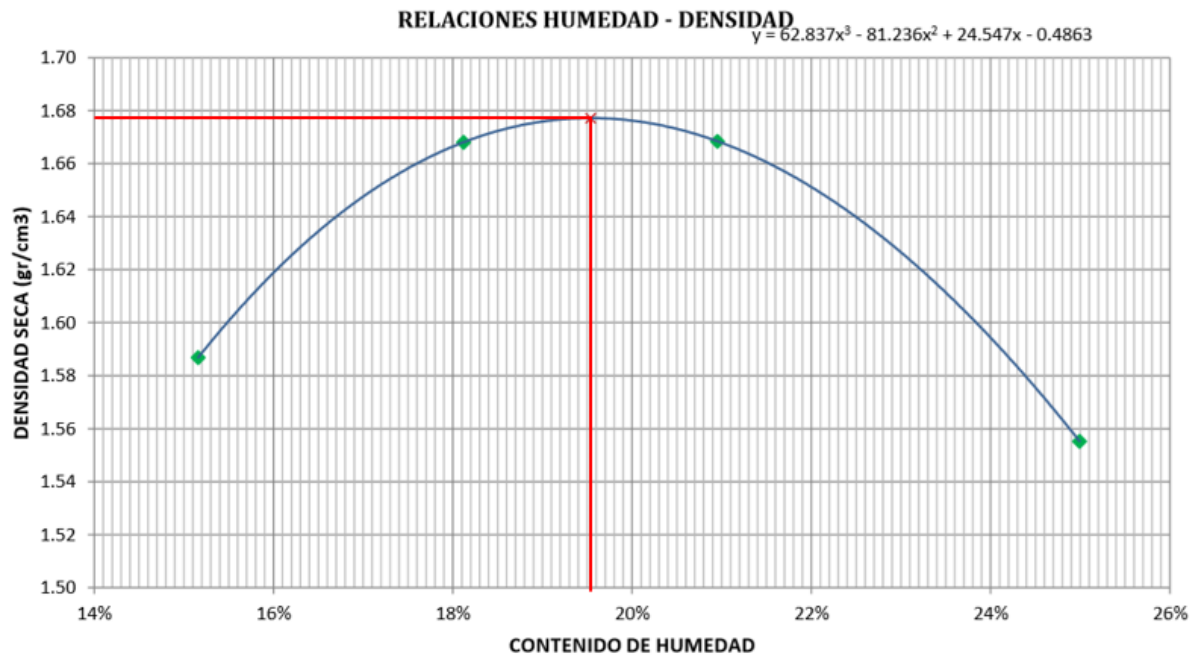
d) Calicata 01 - Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 73 Proctor Modificado de la Calicata 01- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C1- 11-50	C1-21-50	C1- 31-50	C1- 41-50
Peso Hum+(T)	73.45	80.64	54.47	103.51
Peso SECO+(T)	66.26	71.19	47.74	86.51
Peso Agua	7.19	9.45	6.73	17.00
Tara (T)	18.83	19.04	15.62	18.49
Peso Suelo Seco	47.43	52.15	32.12	68.02
Contenido de Humedad (w)	15.16	18.12	20.95	24.99

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		
		943.96 cm3		
		Peso del Molde:		
		3735 g		
Contenido de Humedad (wm)	15.16	18.12	20.95	24.99
Peso de Suelo+Molde (gr)	5460.00	5595.00	5640.00	5570.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1725.00	1860.00	1905.00	1835.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.83	1.97	2.02	1.94
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.59	1.67	1.67	1.56

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	19.54
---------------------------------	-------

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.68
-------------------------------	------

3.6.5.1.4. Análisis de Prueba.

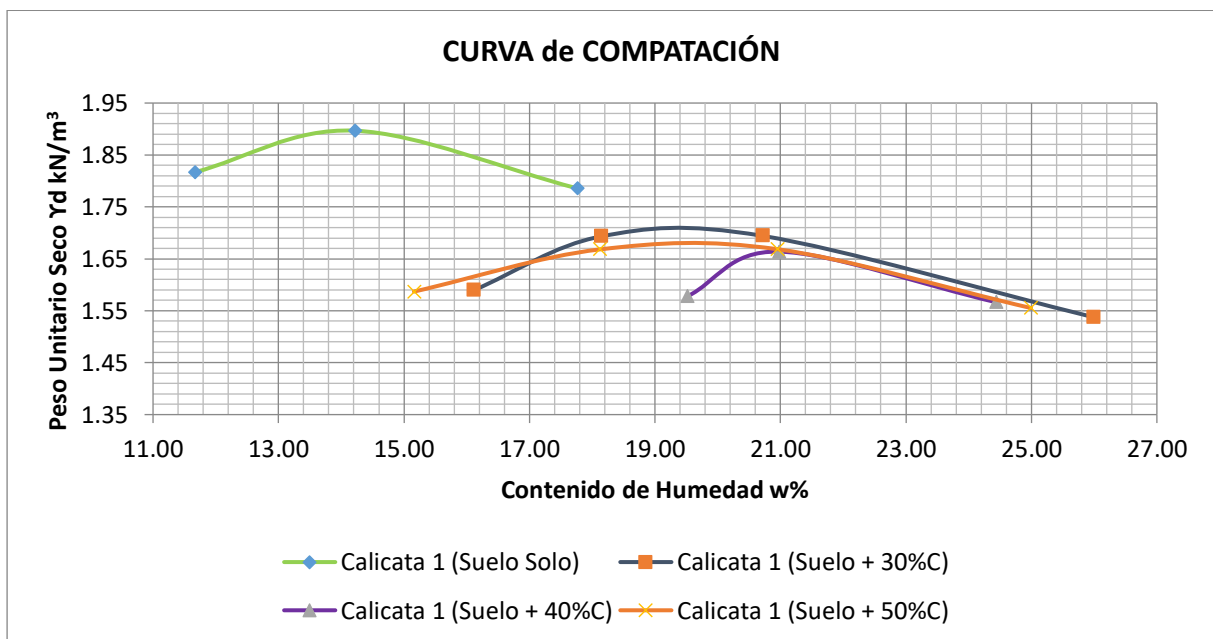
El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 19.54 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.68 (kN/m³).

e) Calicata 01 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 74 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 01.

Calicata 1 (Suelo Solo)		Calicata 1 (Suelo + 30%C)	
Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
11.66	1.82	16.11	1.59
14.21	1.90	18.15	1.69
17.76	1.79	20.72	1.69
-	-	26.00	1.54
Calicata 1 (Suelo + 40%C)		Calicata 1 (Suelo + 50%C)	
Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
19.52	1.58	15.16	1.59
20.98	1.66	18.12	1.67
24.44	1.57	20.95	1.67
-	-	24.99	1.56

COMPILACION		
	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
C1 (Suelo Solo)	14.46	1.90
C1 (Suelo + 30%C)	19.30	1.71
C1 (Suelo + 40%C)	21.91	1.68
C1 (Suelo + 50%C)	19.54	1.68



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.5.1.5. Análisis de Prueba.

Se puede apreciar con los resultados obtenidos que el contenido de humedad se incrementa al contrario de la densidad máxima que disminuye.

	Suelo Solo	Suelo + 30% C	Suelo + 40% C	Suelo + 50% C
Contenido de Humedad Óptimo (%)	14.46	19.3	21.91	19.54
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.9	1.71	1.68	1.68

3.6.5.2. Procesamiento y Cálculos.

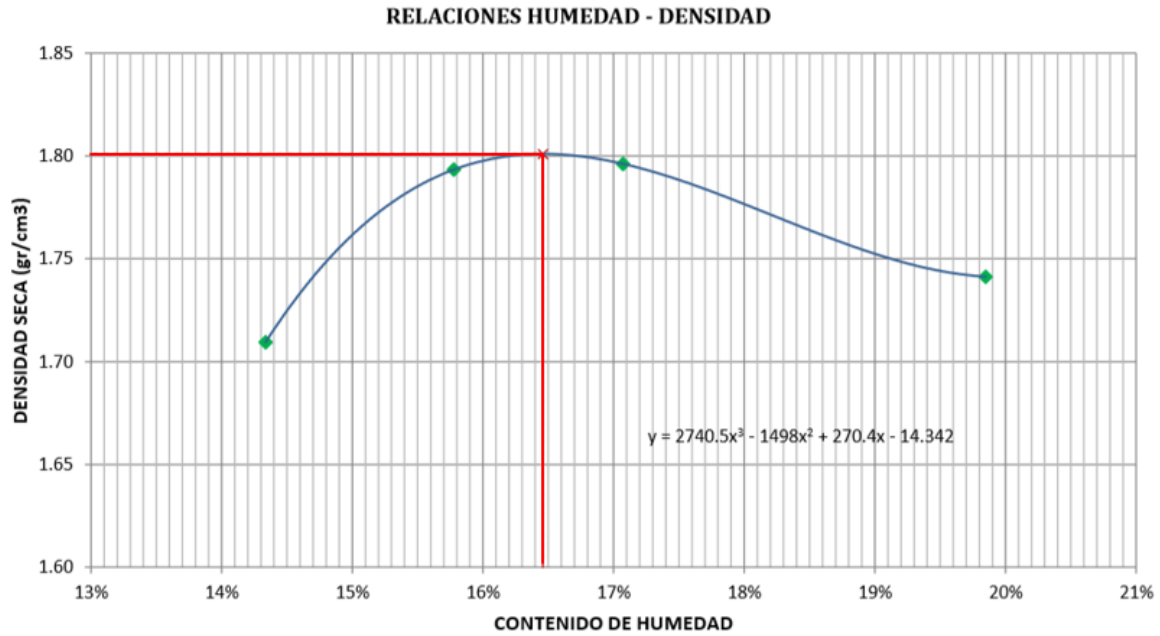
a) Calicata 02 - Suelo Solo.

Tabla 75 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo Solo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11	C2-21	C2- 31	C2- 41
Peso Hum+(T)	101.06	92.49	108.04	95.87
Peso SECO+(T)	90.83	81.46	95.08	81.79
Peso Agua	10.23	11.03	12.96	14.08
Tara (T)	19.47	11.55	19.17	10.85
Peso Suelo Seco	71.36	69.91	75.91	70.94
Contenido de Humedad (w)	14.34	15.78	17.07	19.85

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		943.96 cm3
		Peso del Molde:		3750 g
Contenido de Humedad (wm)	14.34	15.78	17.07	19.85
Peso de Suelo+Molde (gr)	5595.00	5710.00	5735.00	5720.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1845.00	1960.00	1985.00	1970.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.95	2.08	2.10	2.09
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.71	1.79	1.80	1.74

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	16.46
--	-------

Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1.8
---	-----

3.6.5.2.1. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 16.46 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.8 (kN/m³).



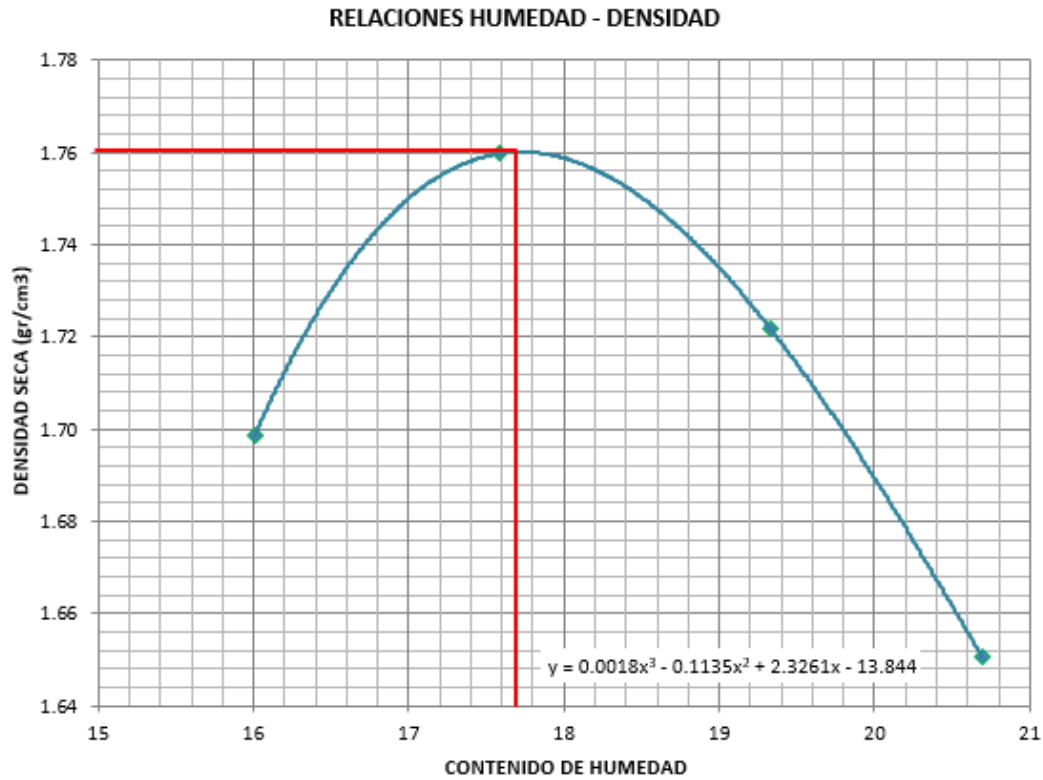
b) Calicata 02 - Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

Tabla 76 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-50	C2-21-50	C2- 31-50	C2- 41-50
Peso Hum+(T)	50.32	52.49	66.13	78.97
Peso SECO+(T)	44.82	46.25	58.21	68.59
Peso Agua	5.50	6.24	7.92	10.38
Tara (T)	10.46	10.76	17.24	18.43
Peso Suelo Seco	34.36	35.49	40.97	50.16
Contenido de Humedad (w)	16.01	17.58	19.33	20.69

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	Volumen del Molde:			
	961.78 cm ³			
	Peso del Molde:			
	3652 g			
Contenido de Humedad (wm)	16.01	17.58	19.33	20.69
Peso de Suelo+Molde (gr)	5547.00	5642.00	5628.00	5568.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1895.00	1990.00	1976.00	1916.00
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.97	2.07	2.05	1.99
Densidad seca (γseca) (gr/cm ³)	1.70	1.76	1.72	1.65

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	17.65
--	-------

Densidad Seca Máxima (kN/m³)	1.76
-------------------------------------	------

3.6.5.2.2. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 17.65 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.76 (kN/m³).

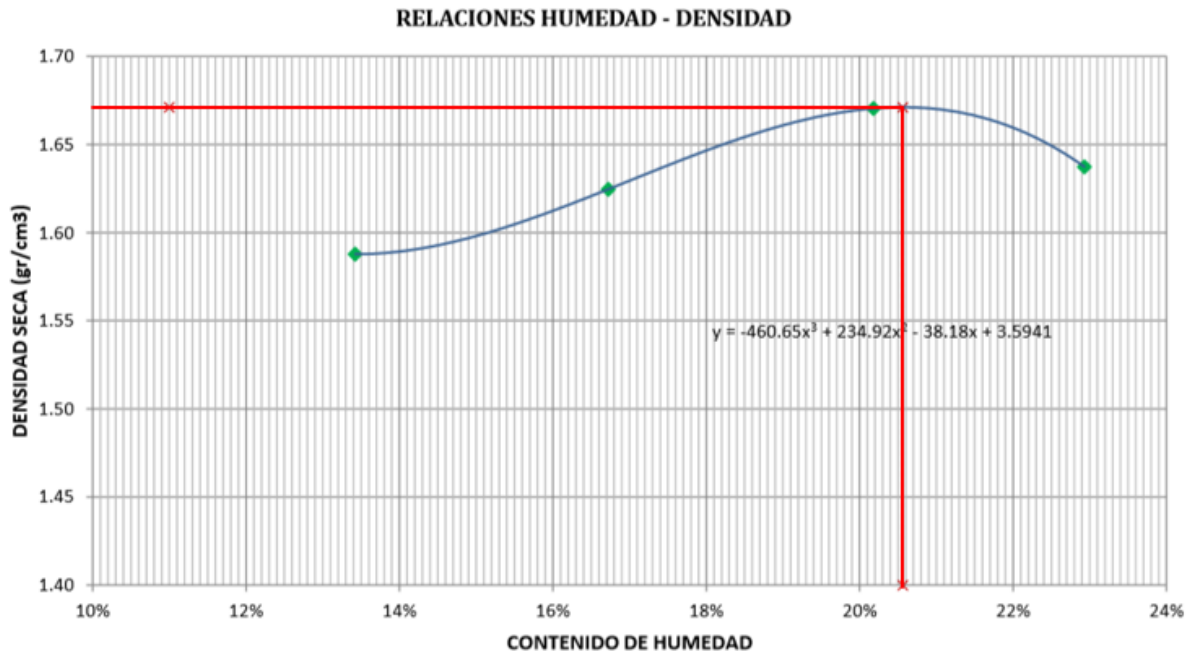
c) Calicata 02 - Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

Tabla 77 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-40	C2-21-40	C2- 31-40	C2- 41-40
Peso Hum+(T)	72.75	85.81	68.62	85.81
Peso SECO+(T)	66.41	76.27	59.87	72.40
Peso Agua	6.34	9.54	8.75	13.41
Tara (T)	19.18	19.22	16.51	13.92
Peso Suelo Seco	47.23	57.05	43.36	58.48
Contenido de Humedad (w)	13.42	16.72	20.18	22.93

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		943.96 cm3
		Peso del Molde:		3665 g
Contenido de Humedad (wm)	13.42	16.72	20.18	22.93
Peso de Suelo+Molde (gr)	5365.00	5455.00	5560.00	5565.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1700.00	1790.00	1895.00	1900.00
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.80	1.90	2.01	2.01
Densidad seca (Yseca) (gr/cm3)	1.59	1.62	1.67	1.64

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	20.56
--	-------

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1.67
--------------------------------------	------

3.6.5.2.3. Análisis de Prueba.

El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 20.56 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.67 (kN/m³).

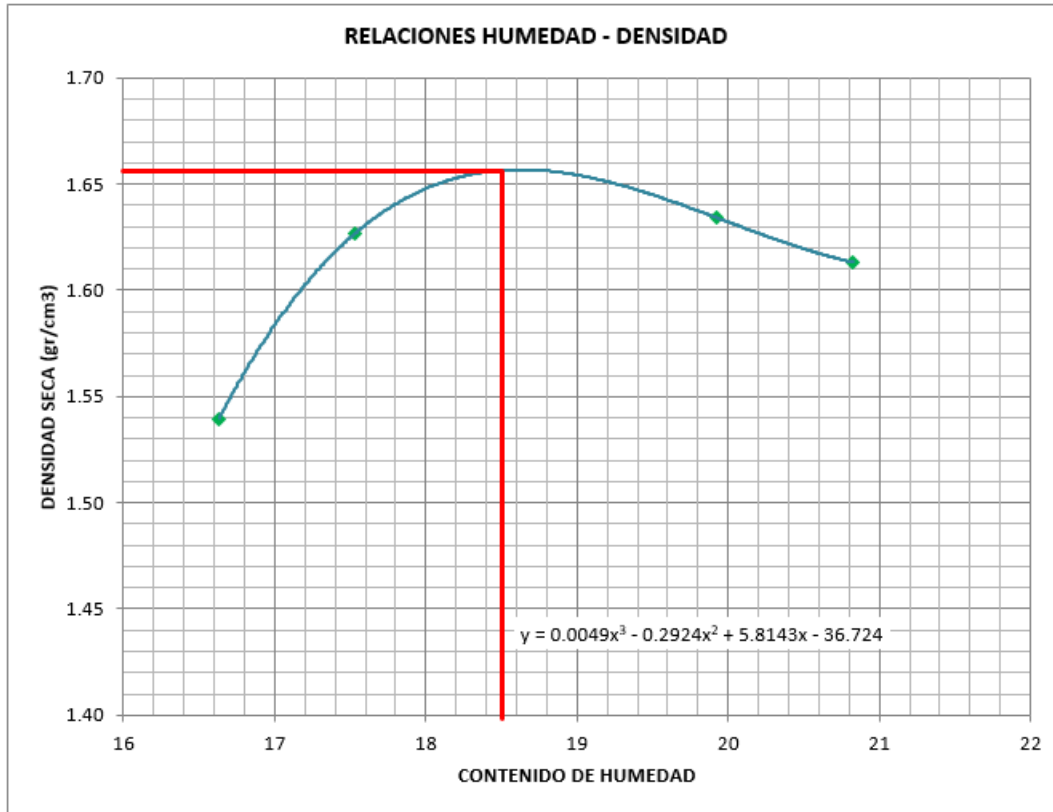
d) Calicata 02 - Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 78 Proctor Modificado de la Calicata 02- Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Muestra N°	P1	P2	P3	P4
N° Tara	C2- 11-50	C2-21-50	C2- 31-50	C2- 41-50
Peso Hum+(T)	48.56	55.05	77.37	75.56
Peso SECO+(T)	43.13	48.37	67.64	65.82
Peso Agua	5.43	6.68	9.73	9.74
Tara (T)	10.48	10.27	18.81	19.05
Peso Suelo Seco	32.65	38.10	48.83	46.77
Contenido de Humedad (w)	16.63	17.53	19.93	20.83

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD		Volumen del Molde:		
		943.96 cm ³		
		Peso del Molde:		
		3835 g		
Contenido de Humedad (wm)	16.63	17.53	19.93	20.83
Peso de Suelo+Molde (gr)	5530.00	5640.00	5685.00	5675.00
Peso de Suelo Húmedo Compactado (gr)	1695.00	1805.00	1850.00	1840.00
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.80	1.91	1.96	1.95
Densidad seca (Yseca) (gr/cm ³)	1.54	1.63	1.63	1.61

Fuente: Elaboración Propia.



Contenido de Humedad Óptimo (%)	18.63
--	-------

Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1.66
---	------

3.6.5.2.4. Análisis de Prueba.

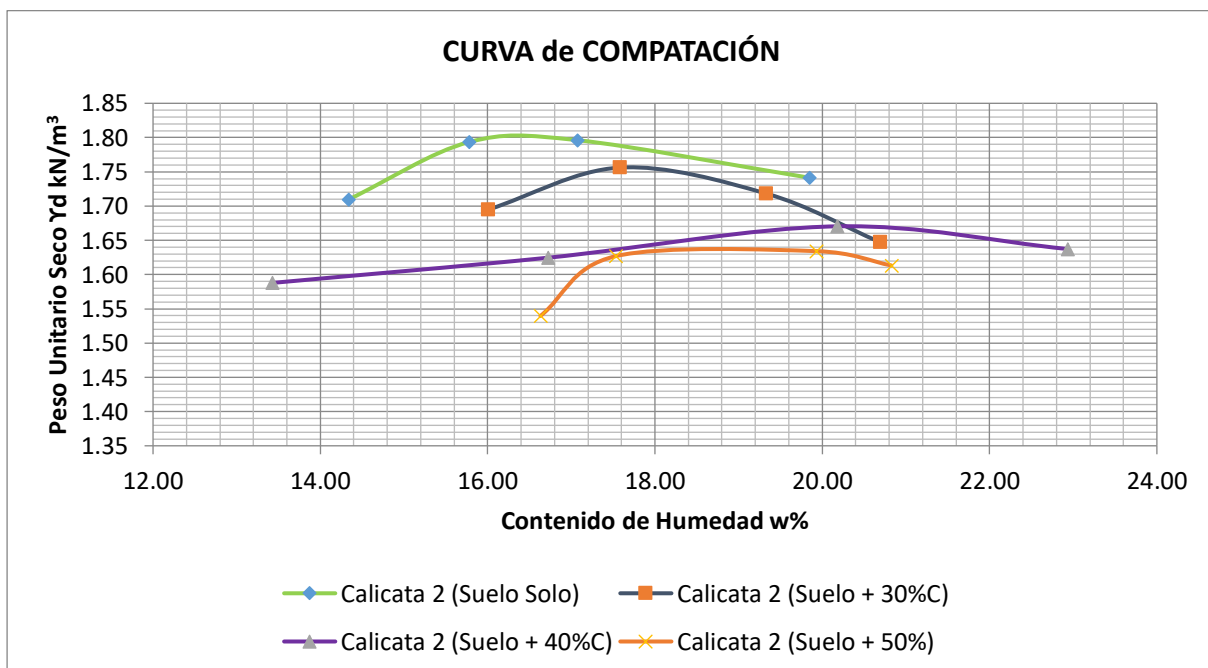
El Contenido de Humedad Óptimo (CHO) del suelo es de 18.63 % en función al peso, teniendo una Densidad máxima de 1.66 (kN/m³).

e) Calicata 02 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 79 Comparativa de Análisis de Datos de Calicata 02.

Calicata 2 (Suelo Solo)		Calicata 2 (Suelo + 30%C)	
Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
14.34	1.71	16.01	1.70
15.78	1.79	17.58	1.76
17.07	1.80	19.33	1.72
19.85	1.74	20.69	1.65
Calicata 2 (Suelo + 40%C)		Calicata 2 (Suelo + 50%)	
Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
13.42	1.59	16.63	1.54
16.72	1.62	17.53	1.63
20.18	1.67	19.93	1.63
22.93	1.64	20.83	1.61

COMPILACION		
	Contenido de Humedad	Densidad Seca Máxima (kN/m ³)
C2 (Suelo Solo)	16.46	1.80
C2 (Suelo + 30%C)	17.65	1.76
C2 (Suelo + 40%C)	20.56	1.67
C2 (Suelo + 50%C)	18.63	1.66



Fuente: Elaboración Propia.



3.6.5.2.5. Análisis de Prueba.

Se puede apreciar con los resultados obtenidos que el contenido de humedad se incrementa al contrario de la densidad máxima que disminuye.

	Suelo Solo	Suelo + 30% C	Suelo + 40% C	Suelo + 50% C
Contenido de Humedad Óptimo (%)	16.46	17.65	20.56	18.63
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.8	1.76	1.67	1.66

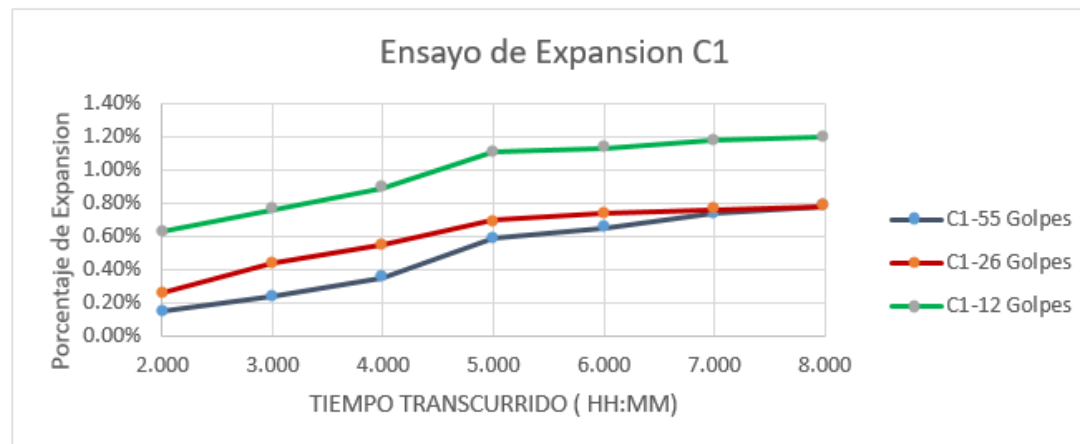
3.6.6. Ensayo CBR.

3.6.6.1. Procesamiento y Cálculos.

a) Calicata 01 - Suelo Solo.

Tabla 80 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo Solo.

Ensayo de Expansión C1													
Tiempo		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	7	0.007	0.178	0.15%	12	0.012	0.305	0.26%	29	0.029	0.737	0.63%
0.125	3h 00min	11	0.011	0.279	0.24%	20	0.02	0.508	0.44%	35	0.035	0.889	0.76%
0.25	6h 00min	16	0.016	0.406	0.35%	25	0.025	0.635	0.55%	41	0.041	1.041	0.89%
0.5	12h 00min	27	0.027	0.686	0.59%	32	0.032	0.813	0.70%	51	0.051	1.295	1.11%
1	24h 00min	30	0.03	0.762	0.65%	34	0.034	0.864	0.74%	52	0.052	1.321	1.13%
2	48h 00min	34	0.034	0.864	0.74%	35	0.035	0.889	0.76%	54	0.054	1.372	1.18%
4	96h 00min	36	0.036	0.914	0.79%	36	0.036	0.914	0.79%	55	0.055	1.397	1.20%





Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C1													
	Pistón (cm2)= 19.35		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	12	36.74	1.90		10	30.11	1.56		8	23.48	1.21	
	50	1.270	19	59.94	3.10		16	50.00	2.58		14	43.37	2.24	
	75	1.905	38	122.87	6.35		31	99.69	5.15		24	76.51	3.95	
70.31	100	2.540	51	165.88	8.57	12.19	43	139.41	7.20	10.25	35	112.93	5.84	8.30
	125	3.175	65	212.17	10.97		53	172.50	8.91		43	139.41	7.20	
	150	3.810	78	255.13	13.18		62	202.26	10.45		50	162.57	8.40	
105.463	200	5.080	100	327.75	16.94	16.06	78	255.13	13.18	12.50	60	195.65	10.11	9.59
	300	7.620	142	466.15	24.09		115	377.21	19.49		80	261.73	13.53	
	400	10.160	176	577.95	29.87		136	446.40	23.07		94	307.95	15.91	
	500	12.700	208	682.99	35.30		165	541.80	28.00		105	344.24	17.79	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	3.205	11.070	15.74	3.171	8.900	12.66	2.979	6.780	9.64
105.46	5.745	18.810	17.84	5.711	14.750	13.99	5.519	10.700	10.15



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	15.74	17.84	1.86	gr/cm ³
26	12.66	13.99	1.81	gr/cm ³
11	9.64	10.15	1.75	gr/cm ³

Densidad seca Máxima (gr/cm ³)	1.9
95% De la DSM (gr/cm ³)	1.805

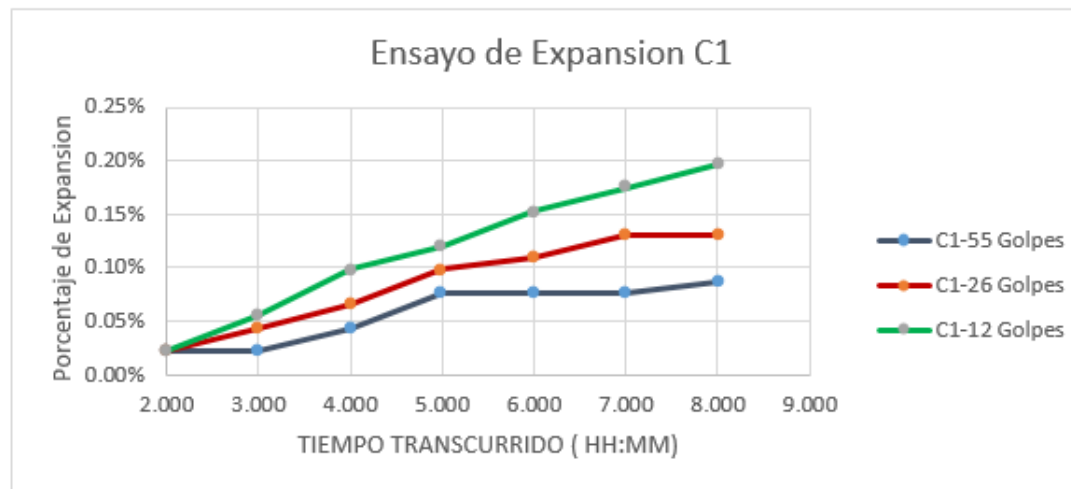
	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	18.38	21.04
CBR al 95% de la DSM	12.4	13.65

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

b) Calicata 01 - Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

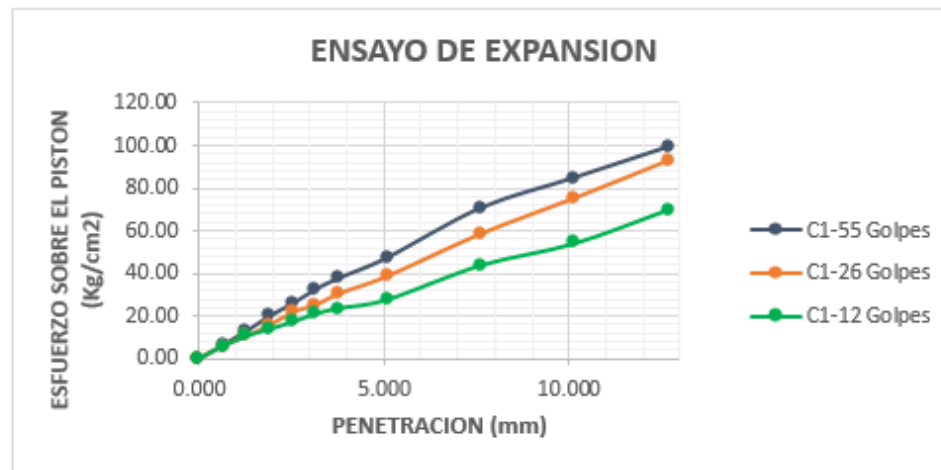
Tabla 81 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C1													
Tiempo		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	1	0.001	0.025	0.02%	1	0.001	0.025	0.02%	1	0.001	0.025	0.02%
0.125	3h 00min	1	0.001	0.025	0.02%	2	0.002	0.051	0.04%	2.5	0.0025	0.064	0.05%
0.25	6h 00min	2	0.002	0.051	0.04%	3	0.003	0.076	0.07%	4.5	0.0045	0.114	0.10%
0.5	12h 00min	3.5	0.0035	0.089	0.08%	4.5	0.0045	0.114	0.10%	5.5	0.0055	0.140	0.12%
1	24h 00min	3.5	0.0035	0.089	0.08%	5	0.005	0.127	0.11%	7	0.007	0.178	0.15%
2	48h 00min	3.5	0.0035	0.089	0.08%	6	0.006	0.152	0.13%	8	0.008	0.203	0.17%
4	96h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	6	0.006	0.152	0.13%	9	0.009	0.229	0.20%





Carga Unitaria Patrón (Kg/cm ²)	Ensayo de Penetración C1													
	Pistón (cm ²)= 19.35	C1-55 Golpes					C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	37	119.55	6.18		35	112.93	5.84		34	109.62	5.67	
	50	1.270	75	245.22	12.67		62	202.26	10.45		62	202.26	10.45	
	75	1.905	117	383.81	19.83		92	301.35	15.57		81	265.04	13.70	
70.31	100	2.540	152	499.05	25.79	36.68	128	420.05	21.71	30.88	101	331.05	17.11	24.33
	125	3.175	192	630.50	32.58		149	489.18	25.28		124	406.87	21.03	
	150	3.810	223	732.16	37.84		180	591.09	30.55		139	456.27	23.58	
105.463	200	5.080	278	912.12	47.14	44.70	227	745.27	38.52	36.52	162	531.94	27.49	26.07
	300	7.620	417	1364.49	70.52		345	1130.60	58.43		257	843.47	43.59	
	400	10.160	502	1639.40	84.72		445	1455.19	75.20		318	1042.65	53.88	
	500	12.700	589	1919.44	99.20		551	1797.29	92.88		412	1348.28	69.68	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.540	25.791	36.68	2.540	21.708	30.88	2.540	17.108	24.33
105.46	5.080	47.138	44.70	5.080	38.515	36.52	5.080	27.490	26.07



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	36.68	44.70	1.64	gr/cm ³
26	30.88	36.52	1.55	gr/cm ³
11	24.33	26.07	1.48	gr/cm ³

Densidad seca Máxima (gr/cm ³)	1.71
95% De la DSM (gr/cm ³)	1.62

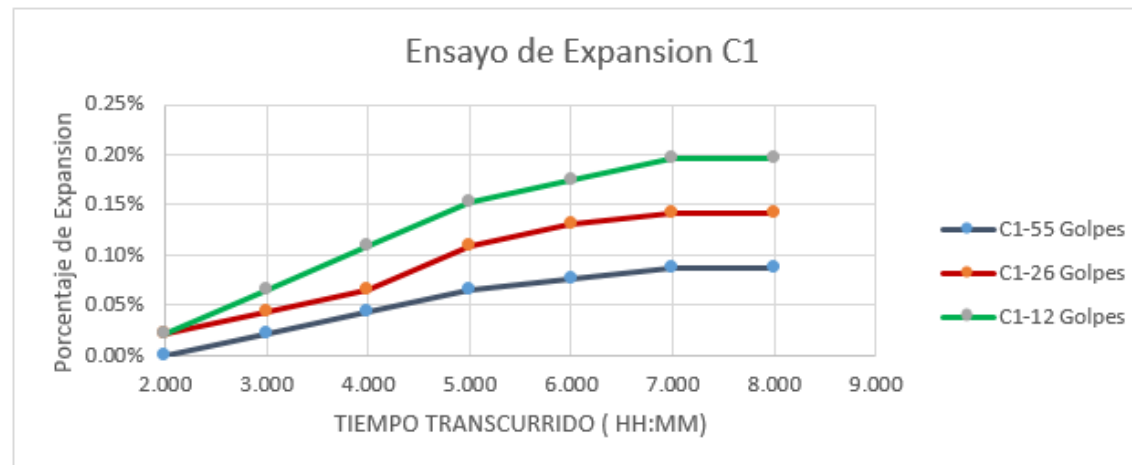
	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	39.87	49.70
CBR al 95% de la DSM	35.76	43.31

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

c) Calicata 01 - Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

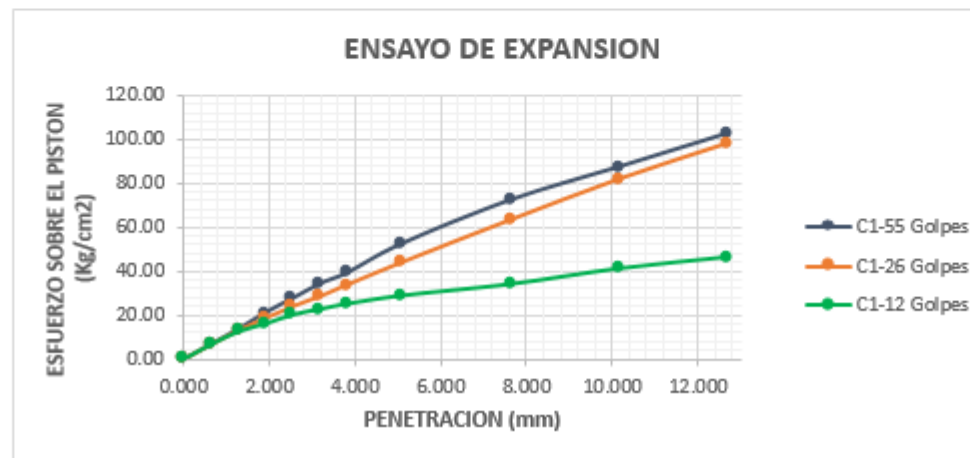
Tabla 82 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C1													
Tiempo		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	0	0	0.000	0.00%	1	0.001	0.025	0.02%	1	0.001	0.025	0.02%
0.125	3h 00min	1	0.001	0.025	0.02%	2	0.002	0.051	0.04%	3	0.003	0.076	0.07%
0.25	6h 00min	2	0.002	0.051	0.04%	3	0.003	0.076	0.07%	5	0.005	0.127	0.11%
0.5	12h 00min	3	0.003	0.076	0.07%	5	0.005	0.127	0.11%	7	0.007	0.178	0.15%
1	24h 00min	3.5	0.0035	0.089	0.08%	6	0.006	0.152	0.13%	8	0.008	0.203	0.17%
2	48h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	6.5	0.0065	0.165	0.14%	9	0.009	0.229	0.20%
4	96h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	6.5	0.0065	0.165	0.14%	9	0.009	0.229	0.20%



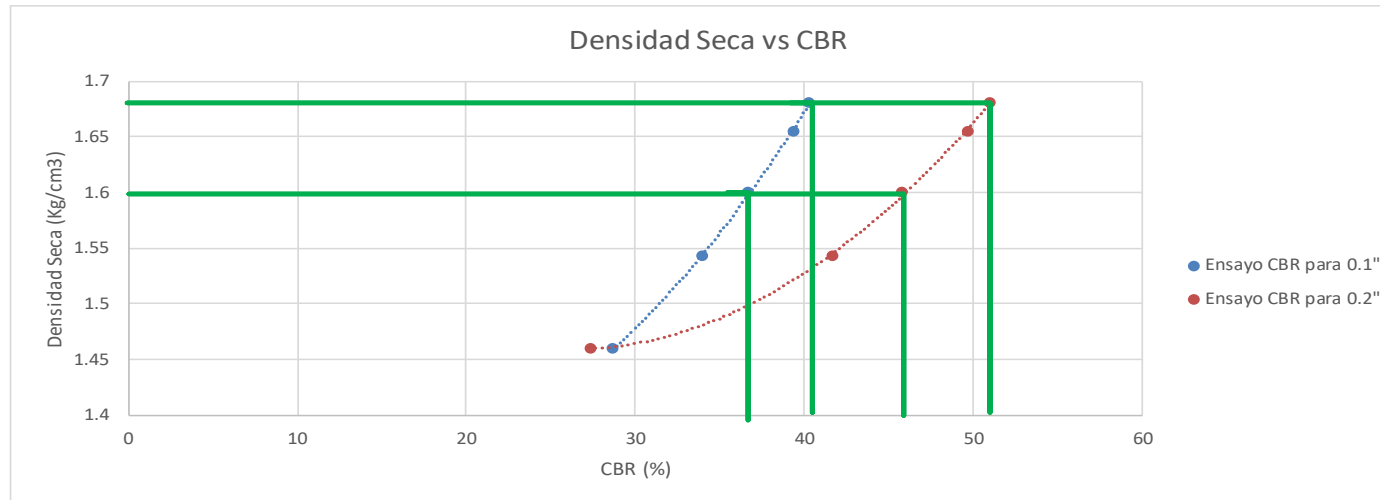


Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C1													
	Pistón (cm2)= 19.35		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	41	132.79	6.86		40	129.49	6.69		40	129.49	6.69	
	50	1.270	81	265.04	13.70		77	251.82	13.01		74	241.91	12.50	
	75	1.905	125	410.17	21.20		110	360.73	18.64		95	311.25	16.09	
70.31	100	2.540	163	535.23	27.66	39.34	141	462.86	23.92	34.02	119	390.40	20.18	28.70
	125	3.175	202	663.31	34.28		168	551.66	28.51		134	439.81	22.73	
	150	3.810	231	758.37	39.19		199	653.47	33.77		148	485.89	25.11	
105.463	200	5.080	309	1013.31	52.37	49.65	259	850.01	43.93	41.65	170	558.24	28.85	27.36
	300	7.620	427	1396.90	72.19		374	1224.92	63.30		201	660.03	34.11	
	400	10.160	517	1687.78	87.22		485	1584.52	81.89		243	797.67	41.22	
	500	12.700	609	1983.62	102.51		583	1900.17	98.20		274	899.05	46.46	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patron	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetracion Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.540	27.660	39.34	2.540	23.920	34.02	2.540	20.176	28.70
105.46	5.080	52.367	49.65	5.080	43.928	41.65	5.080	28.850	27.36



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	39.34	49.65	1.66	gr/cm3
26	34.02	41.65	1.54	gr/cm3
11	28.70	27.36	1.46	gr/cm3

Densidad seca Maxima (gr/cm3)	1.68
95% De la DSM (gr/cm3)	1.60

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	40.32	51.02
CBR al 95% de la DSM	36.67	45.8

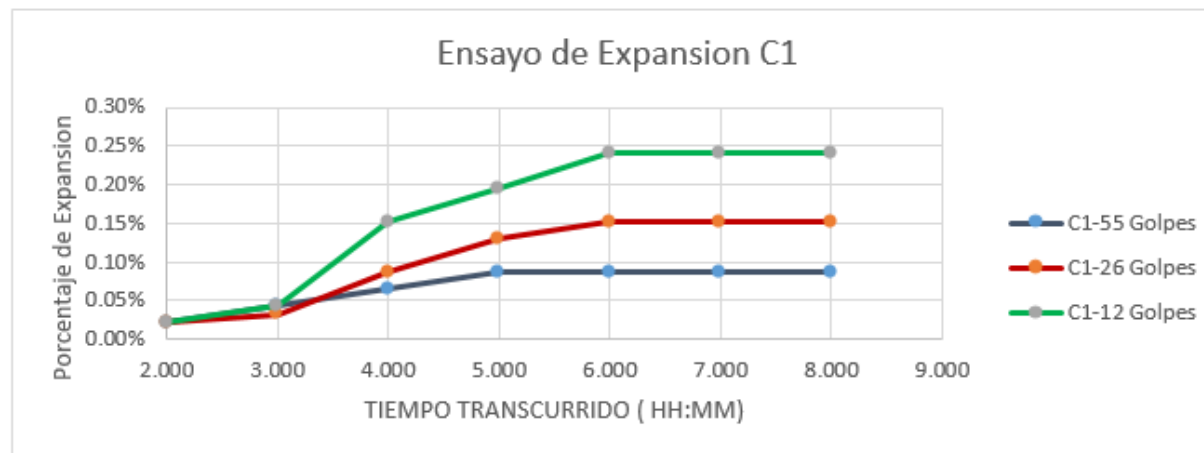
Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.



d) Calicata 01 - Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

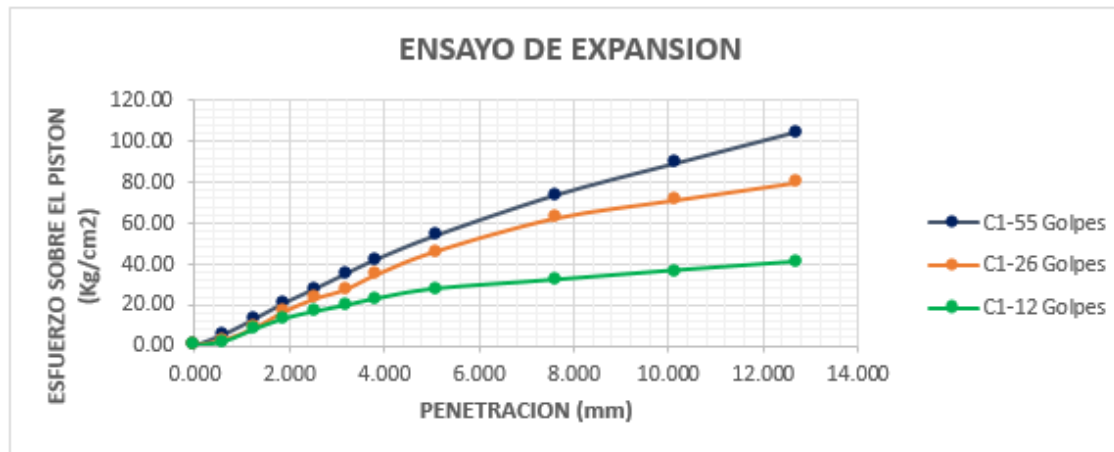
Tabla 83 Datos de la calicata 01 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C1													
Tiempo		C1-55 Golpes				C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	1	0.001	0.025	0.02%	1	0.001	0.025	0.02%	1	0.001	0.025	0.02%
0.125	3h 00min	2	0.002	0.051	0.04%	1.5	0.0015	0.038	0.03%	2	0.002	0.051	0.04%
0.25	6h 00min	3	0.003	0.076	0.07%	4	0.004	0.102	0.09%	7	0.007	0.178	0.15%
0.5	12h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	6	0.006	0.152	0.13%	9	0.009	0.229	0.20%
1	24h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	7	0.007	0.178	0.15%	11	0.011	0.279	0.24%
2	48h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	7	0.007	0.178	0.15%	11	0.011	0.279	0.24%
4	96h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	7	0.007	0.178	0.15%	11	0.011	0.279	0.24%



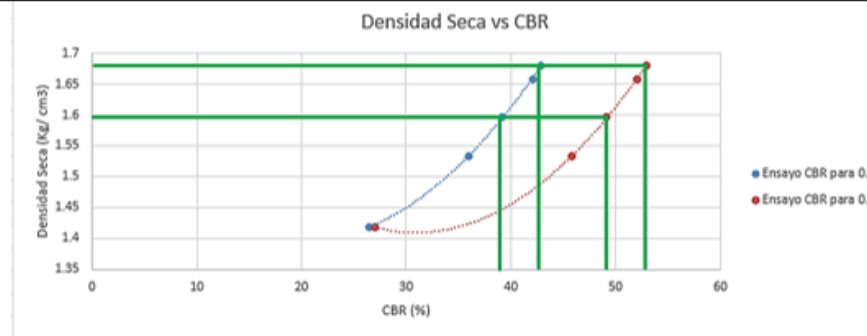


Carga Unitaria Patrón (Kg/cm ²)	Ensayo de Penetración C1													
	Pistón (cm ²)= 19.35	C1-55 Golpes					C1-26 Golpes				C1-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	34	109.62	5.67		18	56.63	2.93		14	43.37	2.24	
	50	1.270	78	255.13	13.18		52	169.19	8.74		49	159.27	8.23	
	75	1.905	124	406.87	21.03		100	327.75	16.94		79	258.43	13.36	
70.31	100	2.540	164	538.52	27.83	39.58	136	446.40	23.07	32.81	99	324.45	16.77	23.85
	125	3.175	206	676.43	34.96		162	531.94	27.49		116	380.51	19.66	
	150	3.810	247	810.76	41.90		204	669.87	34.62		135	443.10	22.90	
105.463	200	5.080	317	1039.39	53.72	50.93	273	895.78	46.29	43.90	164	538.52	27.83	26.39
	300	7.620	435	1422.81	73.53		370	1211.92	62.63		190	623.93	32.24	
	400	10.160	528	1723.23	89.06		423	1383.94	71.52		217	712.50	36.82	
	500	12.700	620	2018.89	104.34		474	1548.99	80.05		242	794.39	41.05	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.697	29.580	42.07	2.856	25.260	35.93	2.937	18.580	26.43
105.46	5.237	54.920	52.08	5.396	48.310	45.81	5.477	28.510	27.03



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	42.07	52.08	1.66	gr/cm ³
26	35.93	45.81	1.53	gr/cm ³
11	26.43	27.03	1.42	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	42.88	52.89
CBR al 95% de la DSM	39.15	49.12

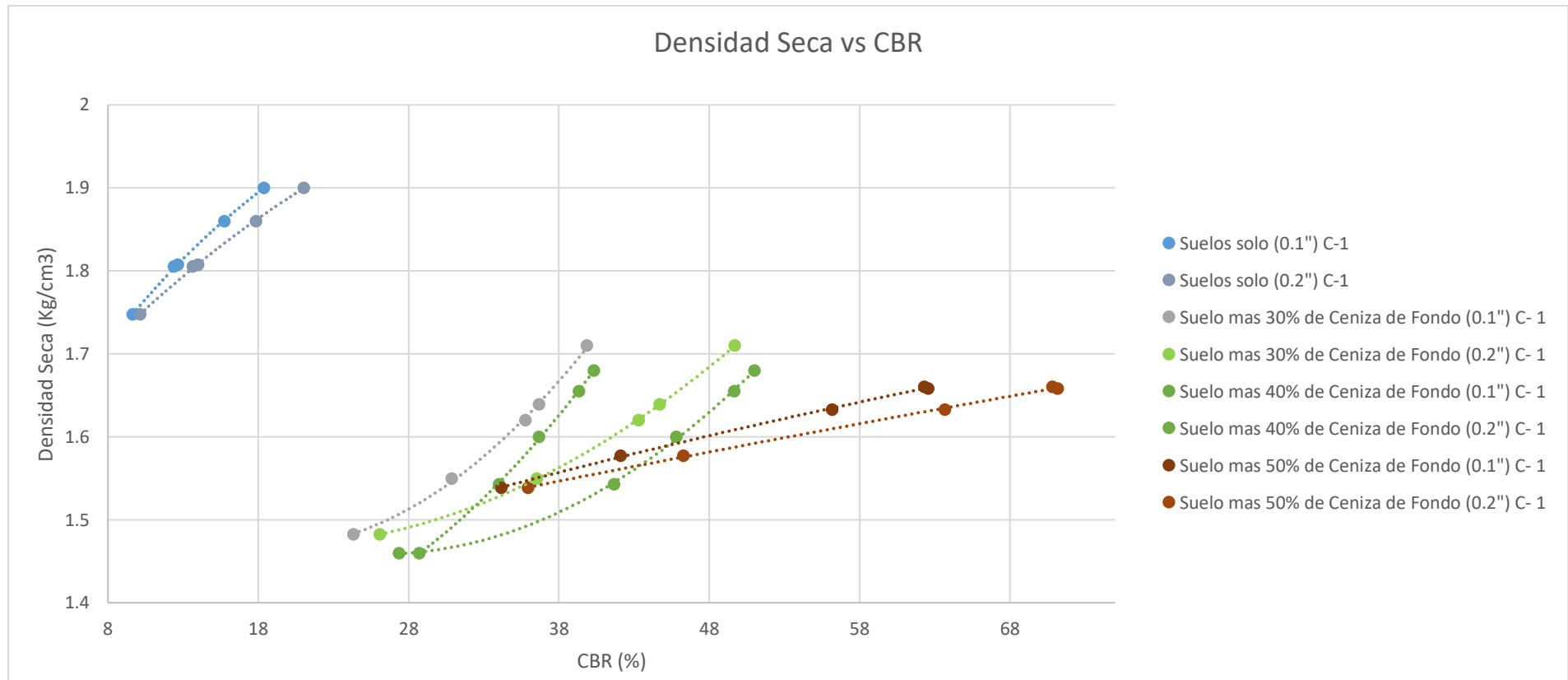
Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.



e) Calicata 01 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 84 Comparativa de los resultados del ensayo de CBR de la calicata 1

Calicata 1 (Suelo Solo)					Calicata 1 (Suelo + 30%C)				
Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima		Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	15.74	17.84	1.86	gr/cm3	55	36.68	44.70	1.64	gr/cm3
26	12.66	13.99	1.81	gr/cm3	26	30.88	36.52	1.55	gr/cm3
11	9.64	10.15	1.75	gr/cm3	11	24.33	26.07	1.48	gr/cm3
Calicata 1 (Suelo + 40%C)					Calicata 1 (Suelo + 50%C)				
Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima		Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	39.34	49.65	1.66	gr/cm3	55	42.07	52.08	1.66	gr/cm3
26	34.02	41.65	1.54	gr/cm3	26	35.93	45.81	1.53	gr/cm3
11	28.70	27.36	1.46	gr/cm3	11	26.43	27.03	1.42	gr/cm3



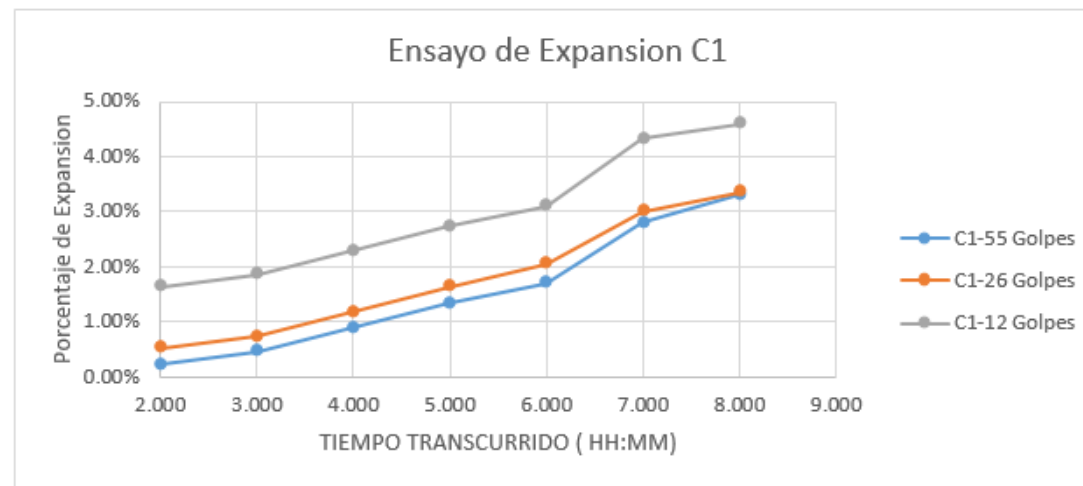
Fuente: Elaboración Propia.

3.6.6.2. Procesamiento y Cálculos de CBR

a) Calicata 02 - Suelo Solo.

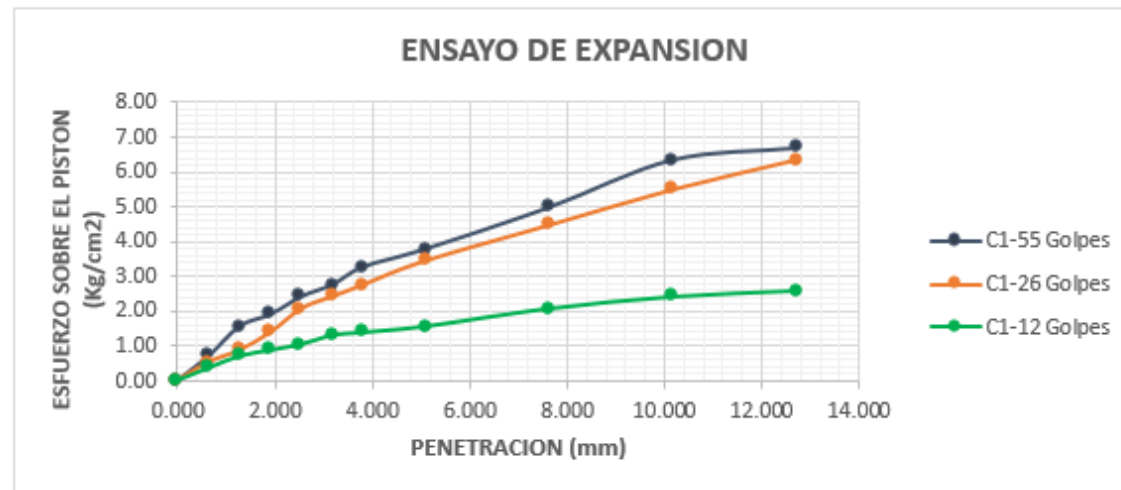
Tabla 85 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo Solo.

Ensayo de Expansión C2													
Tiempo		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	11	0.011	0.279	0.24%	24	0.024	0.610	0.52%	75	0.075	1.905	1.64%
0.125	3h 00min	21	0.021	0.533	0.46%	34	0.034	0.864	0.74%	85	0.085	2.159	1.85%
0.25	6h 00min	41	0.041	1.041	0.89%	54	0.054	1.372	1.18%	105	0.105	2.667	2.29%
0.5	12h 00min	61	0.061	1.549	1.33%	74	0.074	1.880	1.61%	125	0.125	3.175	2.73%
1	24h 00min	78	0.078	1.981	1.70%	94	0.094	2.388	2.05%	142	0.142	3.607	3.10%
2	48h 00min	129	0.129	3.277	2.81%	137	0.137	3.480	2.99%	198	0.198	5.029	4.32%
4	96h 00min	152	0.152	3.861	3.32%	154	0.154	3.912	3.36%	210	0.21	5.334	4.58%





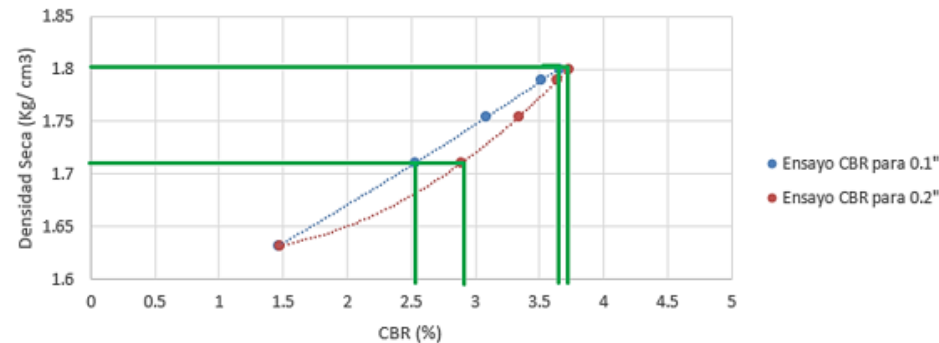
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C2													
	Pistón (cm2)= 19.35		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	5	13.53	0.70		4	10.22	0.53		3	6.90	0.36	
	50	1.270	10	30.11	1.56		6	16.85	0.87		5	13.53	0.70	
	75	1.905	12	36.74	1.90		9	26.79	1.38		6	16.85	0.87	
70.31	100	2.540	15	46.68	2.41	3.43	13	40.05	2.07	2.94	7	20.16	1.04	1.48
	125	3.175	17	53.31	2.76		15	46.68	2.41		8.5	25.14	1.30	
	150	3.810	20	63.25	3.27		17	53.31	2.76		9	26.79	1.38	
105.463	200	5.080	23	73.19	3.78	3.59	21	66.57	3.44	3.26	10	30.11	1.56	1.48
	300	7.620	30	96.38	4.98		27	86.44	4.47		13	40.05	2.07	
	400	10.160	38	122.87	6.35		33	106.31	5.49		15	46.68	2.41	
	500	12.700	40	129.49	6.69		38	122.87	6.35		16	50.00	2.58	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.66	2.47	3.51	2.73	2.17	3.09	2.51	1.03	1.46
105.46	5.20	3.84	3.64	5.27	3.52	3.34	5.05	1.55	1.47

Densidad Seca vs CBR



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	3.51	3.64	1.79	gr/cm3
26	3.09	3.34	1.75	gr/cm3
11	1.46	1.47	1.63	gr/cm3

Densidad seca Máxima (gr/cm3)	1.8
95% De la DSM (gr/cm3)	1.710

	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	3.66	3.73
CBR al 95% de la DSM	2.53	2.89

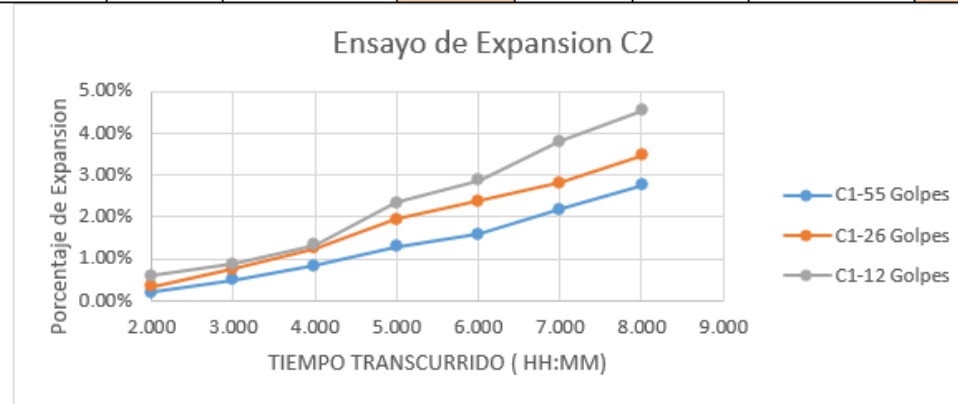
Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.



b) Calicata 02 - Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

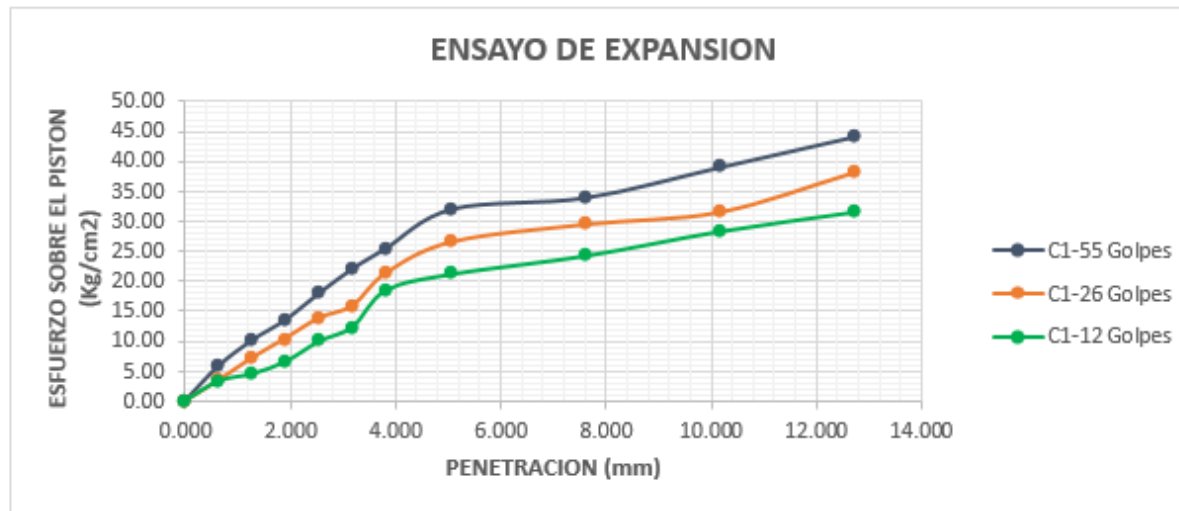
Tabla 86 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 30% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C2													
Tiempo		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	9	0.009	0.229	0.20%	15	0.015	0.381	0.33%	28	0.028	0.711	0.61%
0.125	3h 00min	23	0.023	0.584	0.50%	35	0.035	0.889	0.76%	40	0.04	1.016	0.87%
0.25	6h 00min	38	0.038	0.965	0.83%	57	0.057	1.448	1.24%	61	0.061	1.549	1.33%
0.5	12h 00min	59	0.059	1.499	1.29%	89	0.089	2.261	1.94%	107	0.107	2.718	2.33%
1	24h 00min	73	0.073	1.854	1.59%	109	0.109	2.769	2.38%	132	0.132	3.353	2.88%
2	48h 00min	100	0.1	2.540	2.18%	130	0.13	3.302	2.84%	175	0.175	4.445	3.82%
4	96h 00min	126	0.126	3.200	2.75%	159	0.159	4.039	3.47%	208	0.208	5.283	4.54%





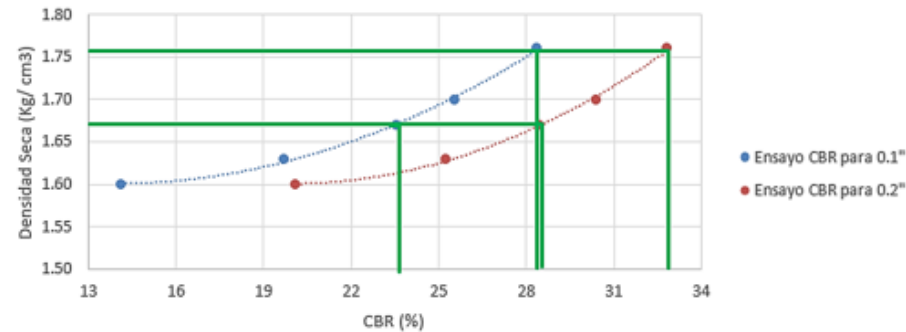
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C2													
	Pistón (cm2)= 19.35		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	35	112.93	5.84		21	66.57	3.44		20	63.25	3.27	
	50	1.270	60	195.65	10.11		43	139.41	7.20		27	86.44	4.47	
	75	1.905	80	261.73	13.53		62	202.26	10.45		39	126.18	6.52	
70.31	100	2.540	106	347.54	17.96	25.55	82	268.34	13.87	19.72	59	192.34	9.94	14.14
	125	3.175	130	426.64	22.05		94	307.95	15.91		73	238.61	12.33	
	150	3.810	150	492.47	25.45		126	413.46	21.37		109	357.43	18.47	
105.46	200	5.080	189	620.65	32.07	30.41	157	515.50	26.64	25.26	125	410.17	21.20	20.10
	300	7.620	200	656.75	33.94		174	571.38	29.53		143	469.44	24.26	
	400	10.160	230	755.10	39.02		186	610.80	31.57		167	548.38	28.34	
	500	12.700	260	853.29	44.10		225	738.72	38.18		186	610.80	31.57	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%	mm	Kg/cm ²	%
70.31	2.54	17.96	25.55	2.54	13.87	19.72	2.54	9.94	14.14
105.46	5.08	32.07	30.41	5.08	26.64	25.26	5.08	21.20	20.10

Densidad Seca vs CBR



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	25.55	30.41	1.70	gr/cm ³
26	19.72	25.26	1.63	gr/cm ³
11	14.14	20.10	1.60	gr/cm ³

Densidad seca Máxima (gr/cm ³)	1.76
95% De la DSM (gr/cm ³)	1.67

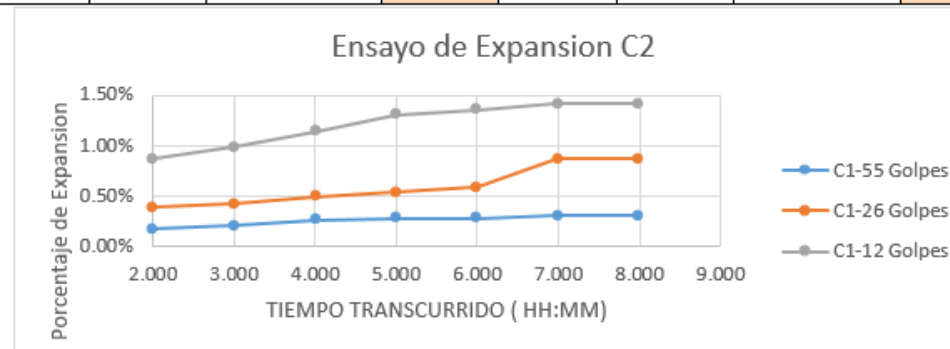
	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	28.35	32.85
CBR al 95% de la DSM	23.57	28.46

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

c) Calicata 02 - Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

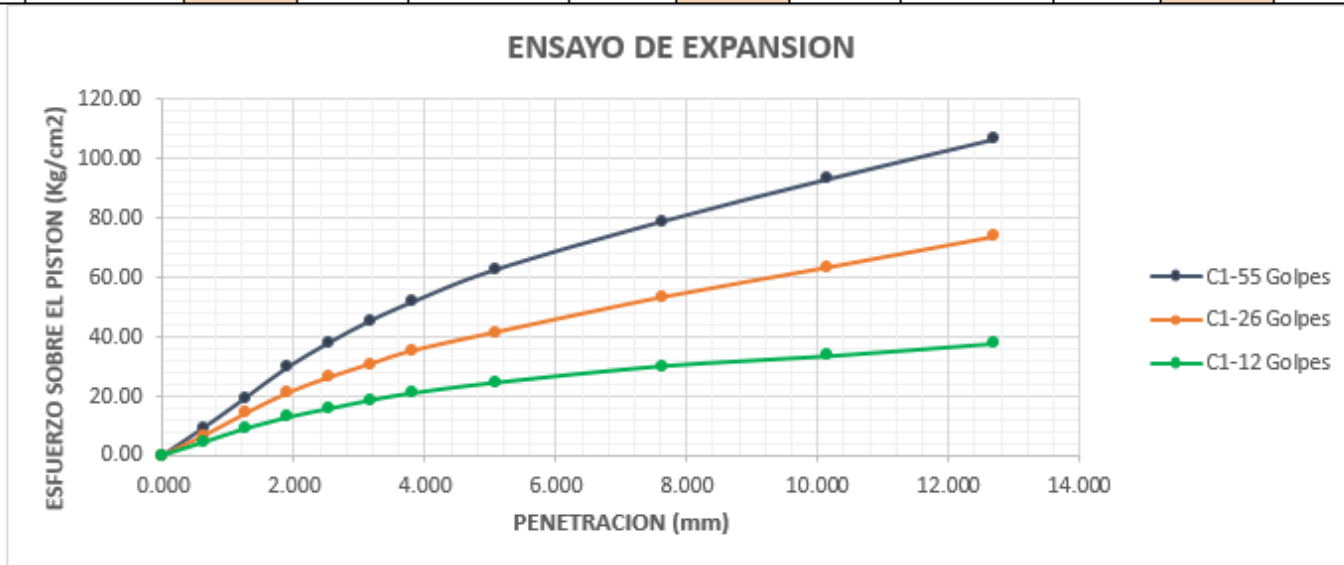
Tabla 87 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 40% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C2													
Tiempo		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	8	0.008	0.203	0.17%	18	0.018	0.457	0.39%	40	0.04	1.016	0.87%
0.125	3h 00min	10	0.01	0.254	0.22%	20	0.02	0.508	0.44%	45	0.045	1.143	0.98%
0.25	6h 00min	12	0.012	0.305	0.26%	23	0.023	0.584	0.50%	52	0.052	1.321	1.13%
0.5	12h 00min	13	0.013	0.330	0.28%	25	0.025	0.635	0.55%	60	0.06	1.524	1.31%
1	24h 00min	13	0.013	0.330	0.28%	27	0.027	0.686	0.59%	62	0.062	1.575	1.35%
2	48h 00min	14	0.014	0.356	0.31%	40	0.04	1.016	0.87%	65	0.065	1.651	1.42%
4	96h 00min	14	0.014	0.356	0.31%	40	0.04	1.016	0.87%	65	0.065	1.651	1.42%





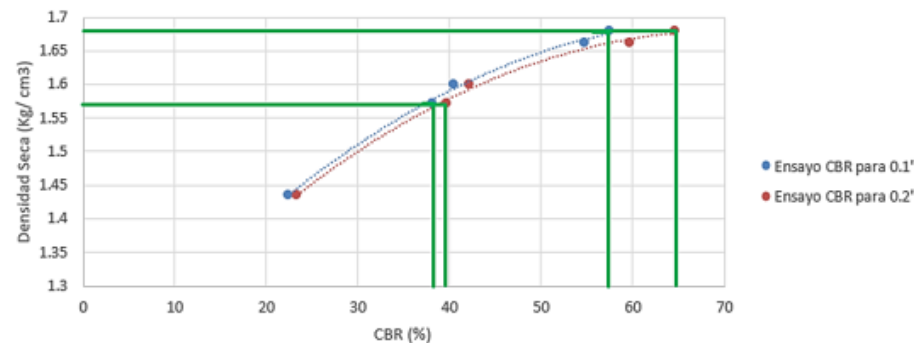
Carga Unitaria Patrón (Kg/cm2)	Ensayo de Penetración C2													
	Pistón (cm2)= 19.35		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
	Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm2	CBR %
	0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
	25	0.635	56	182.42	9.43		40	129.49	6.69		27	86.44	4.47	
	50	1.270	115	377.21	19.49		84	274.94	14.21		54	175.80	9.09	
	75	1.905	175	574.67	29.70		124	406.87	21.03		76	248.52	12.84	
70.31	100	2.540	224	735.44	38.01	54.06	155	508.92	26.30	37.41	93	304.65	15.74	22.39
	125	3.175	268	879.44	45.45		182	597.66	30.89		110	360.73	18.64	
	150	3.810	305	1000.26	51.69		208	682.99	35.30		124	406.87	21.03	
105.46	200	5.080	370	1211.92	62.63	59.39	245	804.21	41.56	39.41	145	476.02	24.60	23.33
	300	7.620	467	1526.36	78.88		315	1032.87	53.38		178	584.52	30.21	
	400	10.160	553	1803.73	93.22		375	1228.17	63.47		198	650.19	33.60	
	500	12.700	634	2063.75	106.65		437	1429.29	73.87		223	732.16	37.84	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.58	38.47	54.71	2.61	26.80	38.12	2.54	15.74	22.39
105.46	5.12	62.87	59.62	5.15	41.88	39.71	5.08	24.59	23.32

Densidad Seca vs CBR



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	54.71	59.62	1.66	gr/cm3
26	38.12	39.71	1.57	gr/cm3
11	22.39	23.32	1.44	gr/cm3

Densidad seca Máxima (gr/cm3)	1.67
95% De la DSM (gr/cm3)	1.59

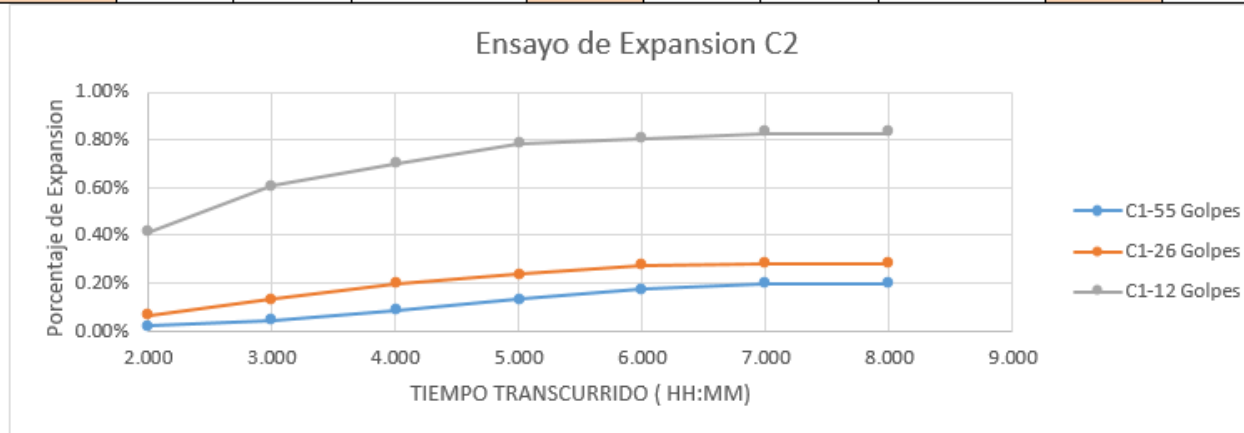
	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	57.44	64.6
CBR al 95% de la DSM	40.37	42.14

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

d) Calicata 02 - Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

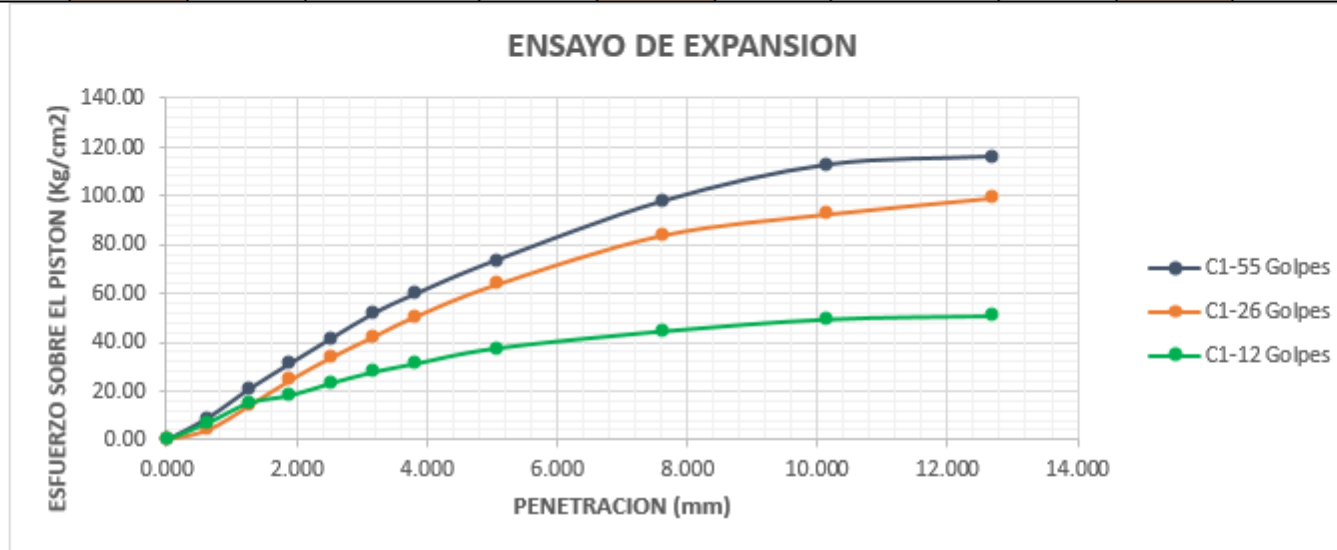
Tabla 88 Datos de la calicata 02 (CBR) Suelo más 50% de Ceniza de Fondo.

Ensayo de Expansión C2													
Tiempo		C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
		Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión	Dial (0.001")	Deformación		% de Expansión
Días	HH:MM		Pulg	mm			Pulg	mm			Pulg	mm	
0	0h 00min	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%	0	0	0.000	0.00%
0.0625	1h 30min	1	0.001	0.025	0.02%	3	0.003	0.076	0.07%	19	0.019	0.483	0.41%
0.125	3h 00min	2	0.002	0.051	0.04%	6	0.006	0.152	0.13%	28	0.028	0.711	0.61%
0.25	6h 00min	4	0.004	0.102	0.09%	9	0.009	0.229	0.20%	32	0.032	0.813	0.70%
0.5	12h 00min	6	0.006	0.152	0.13%	11	0.011	0.279	0.24%	36	0.036	0.914	0.79%
1	24h 00min	8	0.008	0.203	0.17%	12.5	0.0125	0.318	0.27%	37	0.037	0.940	0.81%
2	48h 00min	9	0.009	0.229	0.20%	13	0.013	0.330	0.28%	38	0.038	0.965	0.83%
4	96h 00min	9	0.009	0.229	0.20%	13	0.013	0.330	0.28%	38	0.038	0.965	0.83%





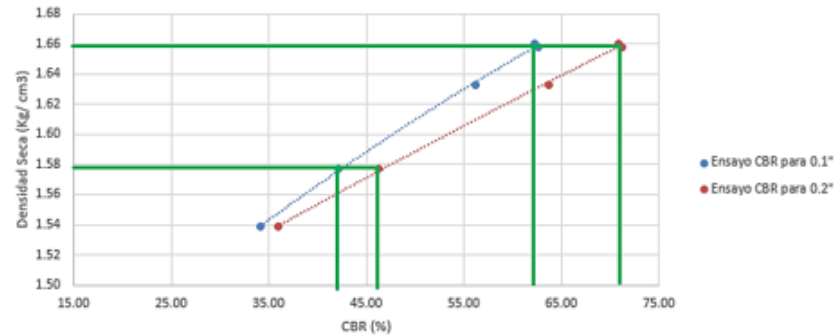
Ensayo de Penetración C2													
Pistón (cm²)=	19.35	C2-55 Golpes				C2-26 Golpes				C2-12 Golpes			
Dial (0.001")	Penetración mm	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm²	CBR %	Dial (0.001")	Fuerza Kg	Esfuerzo Kg/cm²	CBR %
0	0.000	0	0.00	0.00		0	0.00	0.00		0	0.00	0.00	
25	0.635	54	175.80	9.09		25	79.82	4.12		42	136.10	7.03	
50	1.270	123	403.58	20.86		83	271.64	14.04		90	294.75	15.23	
75	1.905	185	607.51	31.40		145	476.02	24.60		108	354.14	18.30	
100	2.540	246	807.48	41.73	59.35	200	656.75	33.94	48.27	138	452.98	23.41	33.30
125	3.175	305	1000.26	51.69		249	817.30	42.24		164	538.52	27.83	
150	3.810	352	1153.38	59.61		297	974.16	50.34		184	604.23	31.23	
200	5.080	436	1426.05	73.70	69.88	377	1234.67	63.81	60.50	222	728.89	37.67	35.72
300	7.620	580	1890.53	97.70		497	1623.27	83.89		263	863.09	44.60	
400	10.160	670	2178.94	112.61		549	1790.86	92.55		292	957.84	49.50	
500	12.700	690	2242.83	115.91		589	1919.44	99.20		300	983.95	50.85	





CORRECCIONES	MUESTRA 01			MUESTRA 02			MUESTRA 03		
Carga Unitaria Patrón	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido	Penetración Corregida	Esfuerzo Corregido	CBR Corregido
Kg/cm2	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%	mm	Kg/cm2	%
70.31	2.69	43.99	62.57	2.97	39.50	56.18	2.63	24.03	34.18
105.46	5.23	75.05	71.16	5.51	67.16	63.68	5.17	37.91	35.95

Densidad Seca vs CBR



Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca	
	0.1"	0.2"		
55	62.57	71.16	1.66	gr/cm3
26	56.18	63.68	1.63	gr/cm3
11	34.18	35.95	1.54	gr/cm3

Densidad seca Máxima (gr/cm3)	1.66
95% De la DSM (gr/cm3)	1.58

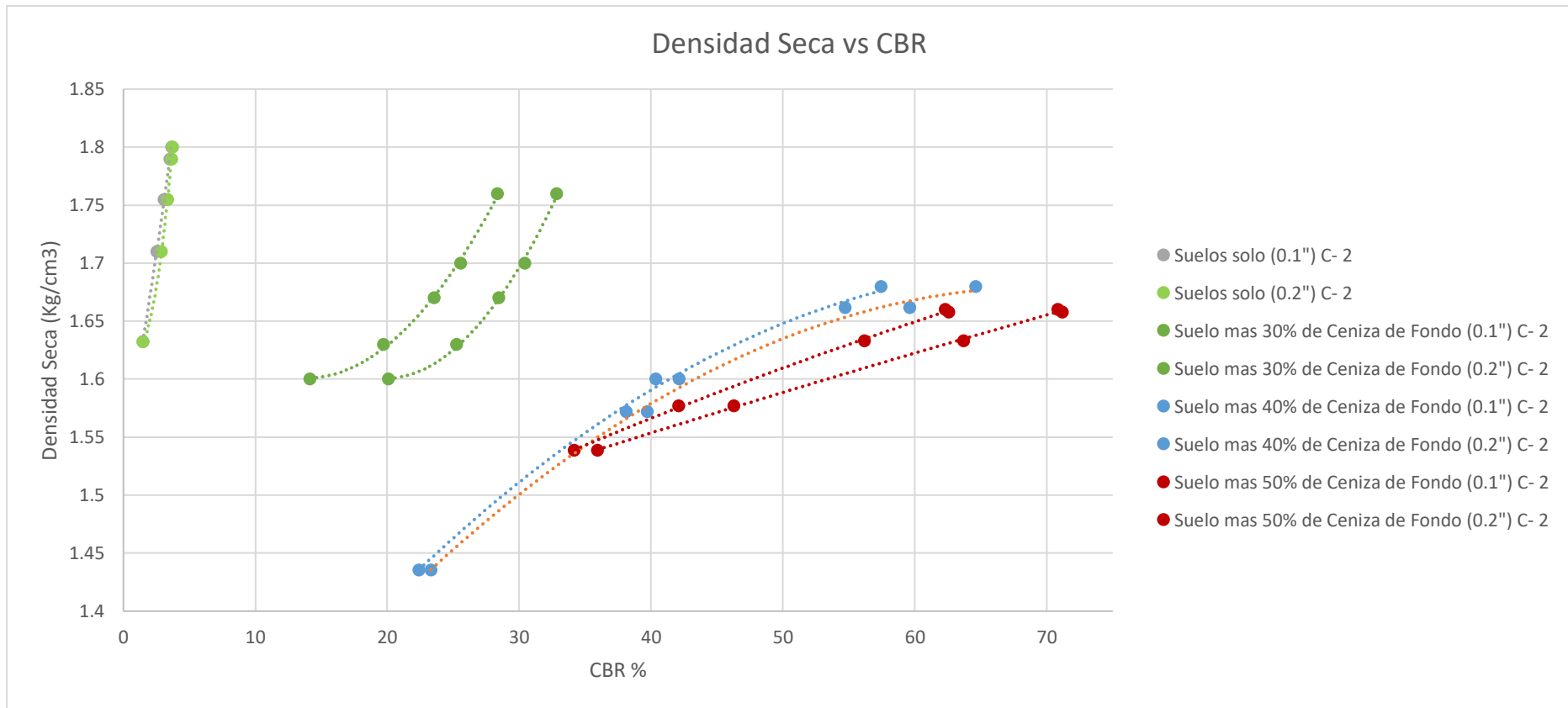
	0.1"	0.2"
CBR al 100% de la DSM	62.29	70.83
CBR al 95% de la DSM	42.1	46.28

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil- Joseph Bowles). Elaboración Propia.

e) Calicata 02 Suelo Solo, más 30%, más 40%, más 50% de Ceniza de Fondo.

Tabla 89 Comparativa de los resultados del ensayo de CBR de la calicata 2.

Calicata 2 (Suelo Solo)					Calicata 2 (Suelo + 30%C)				
Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima		Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	3.51	3.64	1.79	gr/cm3	55	25.55	30.41	1.70	gr/cm3
26	3.09	3.64	1.75	gr/cm3	26	19.72	25.26	1.63	gr/cm3
11	1.46	1.47	1.63	gr/cm3	11	14.14	20.10	1.60	gr/cm3
Calicata 2 (Suelo + 40%C)					Calicata 2 (Suelo + 50%C)				
Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima		Numero de Golpes	CBR		Densidad Seca Máxima	
	0.1"	0.2"				0.1"	0.2"		
55	54.71	59.62	1.66	gr/cm3	55	62.57	71.16	1.66	gr/cm3
26	38.12	39.71	1.57	gr/cm3	26	56.18	63.68	1.63	gr/cm3
11	22.39	23.32	1.44	gr/cm3	11	34.18	35.95	1.54	gr/cm3



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.7. Costos estimados.

Las siguientes tablas representan a la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado.

Tabla 90 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 30%.

Jornada:		8.00	h/d	Rendimiento:		600	m3/dia
Descripcion Recurso	Und	cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial		
Mano de Obra							0.16606
Oficial	hh	1.0000	0.0038	8.15	0.03		
Peon	hh	5.0000	0.0190	7.11	0.14		
Materiales							0
Ceniza de Fondo de Ladrillera	m3		0.300	0.00	0.00		
Equipo y Herramientas							1.796
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.17	0.01		
Camion Cisterna 4x2 (AGUA) 122 HP 1,500	hm	1.0000	0.0038	100.00	0.38		
Rodillo Liso Vibr. Autop. 101- 135HP 10- 12T	hm	1.0000	0.0038	160.00	0.61		
Motoniveladora de 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0038	210.00	0.80		
Costo Unitario						1.96206	

Fuente: Elaboración Propia. Basado en (Expediente de MEJORAMIENTO CAMINO VECINAL HUACCOTO, DISTRITO DE SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO. - 2012)

Tabla 91 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 40%.

Jornada:		8.00	h/d	Rendimiento:			m2/dia
Descripcion Recurso	Und	cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial		
Mano de Obra							0.16606
Oficial	hh	1.0000	0.0038	8.15	0.03		
Peon	hh	5.0000	0.0190	7.11	0.14		
Materiales							0
Ceniza de Fondo de Ladrillera	m3		0.400	0.00	0.00		
Equipo y Herramientas							1.796
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.17	0.01		
Camion Cisterna 4x2 (AGUA) 122 HP	hm	1.0000	0.0038	100.00	0.38		
Rodillo Liso Vibr. Autop. 101- 135HP 10-	hm	1.0000	0.0038	160.00	0.61		
Motoniveladora de 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0038	210.00	0.80		
Costo Unitario						1.96206	

Fuente: Elaboración Propia. Basado en (Expediente de MEJORAMIENTO CAMINO VECINAL HUACCOTO, DISTRITO DE SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO. - 2012)

Tabla 92 Costos Unitarios Calculados Estimados para la partida de Extendido y Compactación de Material Estabilizado con Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero al 50%.

Jornada:	8.00	h/d	Rendimiento:		m2/dia
Descripcion Recurso	Und	cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.16606
Oficial	hh	1.0000	0.0038	8.15	0.03
Peon	hh	5.0000	0.0190	7.11	0.14
Materiales					0
Ceniza de Fondo de Ladrillera	m3		0.500	0.00	0.00
Equipo y Herramientas					1.796
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.17	0.01
Camion Cisterna 4x2 (AGUA) 122 HP	hm	1.0000	0.0038	100.00	0.38
Rodillo Liso Vibr. Autop. 101- 135HP 10-	hm	1.0000	0.0038	160.00	0.61
Motoniveladora de 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0038	210.00	0.80
Costo Unitario					1.96206

Fuente: Elaboración Propia. Basado en (Expediente de MEJORAMIENTO CAMINO VECINAL HUACCOTO, DISTRITO DE SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO. - 2012)

Teniendo en consideración los precios unitarios, sacamos la siguiente proporción de la Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero con respecto al suelo arcilloso, con su respectivo costo.

Tabla 93 Variación en Costo en función a la dosificación de Ceniza de fondo de Horno Ladrillero.

Variacion en Costo en funcion a la dosificacion de la Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero.	
Dosificacion.	Costo.
30.00%	1.9621
40.00%	1.9621
50.00%	1.9621

Considerando que en un molde de Proctor Modificado con método "A" tiene una capacidad de 0.028316m3 (Según la Norma ASTM D 1557), sacamos las cantidades de 30%, 40% y 50% de Ceniza de Fondo, correspondientes a cada caso, para luego mediante una regla de tres simple calcular la cantidad de Ceniza de Fondo de Horno ladrillero entra en 1 m3 de suelo arcilloso.

Proctor Modificado Método "A"	
Volumen	0.028316 m3



- Dosificación para 30% de Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero.

<u>Vol. de Suelo</u>		<u>Vol. de ceniza</u>
0.028316 m3	-----	0.0084948 m3
1 m3	-----	0.300 m3

- Dosificación para 40% de Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero.

<u>Vol. de Suelo</u>		<u>Vol. de ceniza</u>
0.028316 m3	-----	0.0113264 m3
1 m3	-----	0.400 m3

- Dosificación para 50% de Ceniza de Fondo de Horno Ladrillero.

<u>Vol. de Suelo</u>		<u>Vol. de ceniza</u>
0.028316 m3	-----	0.014158 m3
1 m3	-----	0.500 m3

Conociendo las cantidades de Ceniza de Fondo que serán utilizados según los porcentajes concluiremos

Para estabilizar 1 m3 de Suelo Arcilloso se necesitará	0.300 m3 de Ceniza de Fondo.
Para estabilizar 1 m3 de Suelo Arcilloso se necesitará	0.400 m3 de Ceniza de Fondo.
Para estabilizar 1 m3 de Suelo Arcilloso se necesitará	0.500 m3 de Ceniza de Fondo.

Fuente: Elaboración Propia. Basado en (Expediente de MEJORAMIENTO CAMINO VECINAL HUACCOTO, DISTRITO DE SAN JERONIMO - CUSCO - CUSCO. - 2012)



CAPÍTULO IV

4. CAPITULO IV: RESULTADOS.

4.1. Ensayo de clasificación de suelo.

En el caso de la primera muestra de suelo Arcilloso, según la clasificación AASHTO, está se encuentra en el grupo de A – 6, Suelo Arcilloso (Regular a Pobre) y según la clasificación SUCS es una Arcilla de Baja Plasticidad (ligera).

En la segunda muestra de suelo Arcilloso, según la clasificación AASHTO, está se encuentra en el grupo de A – 6, Suelo Arcilloso (Regular a Pobre) y según la clasificación SUCS es una Arcilla de Alta Plasticidad. (Figura N°38, N°39. pág.105, 106).

Clasificación de suelo de las calicatas 01 y 02 según SUCS

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio ^a				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo ^b
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	GW	Grava bien graduada ^f
		Menos del 5% de finos ^c	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e	GP	Grava mal graduada ^f
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa ^{g,h}
		Menos del 5% de finos ^d	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa ^{g,h}
	Arenas con finos Más del 12% de finos ^d	Arenas Limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ ^e	SW	Arena bien graduada ⁱ
		Menos del 5% de finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ ^e	SP	Arena mal graduada ⁱ
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) ^{k,l,m}
		Orgánicos	IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea "A" Límite Líquido secado en horno < 0.75 Límite Líquido no secado < 0.75	ML OL	Limo ^{k,l,m} Arcilla Orgánica ^{k,l,m,n} Limo Orgánico ^{k,l,m,o}
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad ^{k,l,m}
		Orgánicos	IP se grafica debajo de la línea "A" Límite Líquido secado en horno < 0.75 Límite Líquido no secado < 0.75	MH OH	Limo Orgánico ^{k,l,m} Arcilla Orgánica ^{k,l,m,p} Limo Orgánico ^{k,l,m,q}
	Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico	PT	Turba

Según SUCS		Calicata 01	CL	Arcilla de baja Plasticidad (ligera)
		Calicata 02	CH	Arcilla de alta plasticidad

Clasificación de suelo de las calicatas 01 y 02 según AASHTO

Clasificación General		Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa por tamiz N°200)						Suelos Granulares ($>35\%$ pasa por tamiz N°200)					
		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Sub - Grupo		A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 **	A-7-6 **
% que pasa	Tamiz N°10	50 max											
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min									
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max			36 min					
Del Tamiz N°40	LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min	
Tipo de material más común		Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos			
Calificación de la Subrasante		Excelente a Buena						Regular a pobre					
** Si: $IP \leq (LL-30)$ es A-7-5					Si el Suelo es NP $\gg IG=0$; Si $IG < 0 \gg IG=0$								
** Si: $IP > (LL-30)$ es A-7-6													

Según AASHTO	Clasificación General	Tipo de Material más Común	Calificación de la Subrasante	
—	Calicata 01	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre
—	Calicata 02	A - 6	Suelo Arcilloso	Regular a Pobre

4.2. Ensayo de Limites de Atterberg.

En las dos muestras de suelo se ha presentado una visible disminución con respecto a su índice de plasticidad. Del suelo de la muestra uno sin estabilizar que tenía un índice de plasticidad inicial de 15.43, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % disminuyo a 14.00.

Resultado de índice de plasticidad calicata N°1

	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	42.10	41.80	37.40	34.60
Límite Plást. (LP) =	26.67	27.00	23.12	20.60
Índice de Plást. (IP) =	15.43	14.80	14.28	14.00

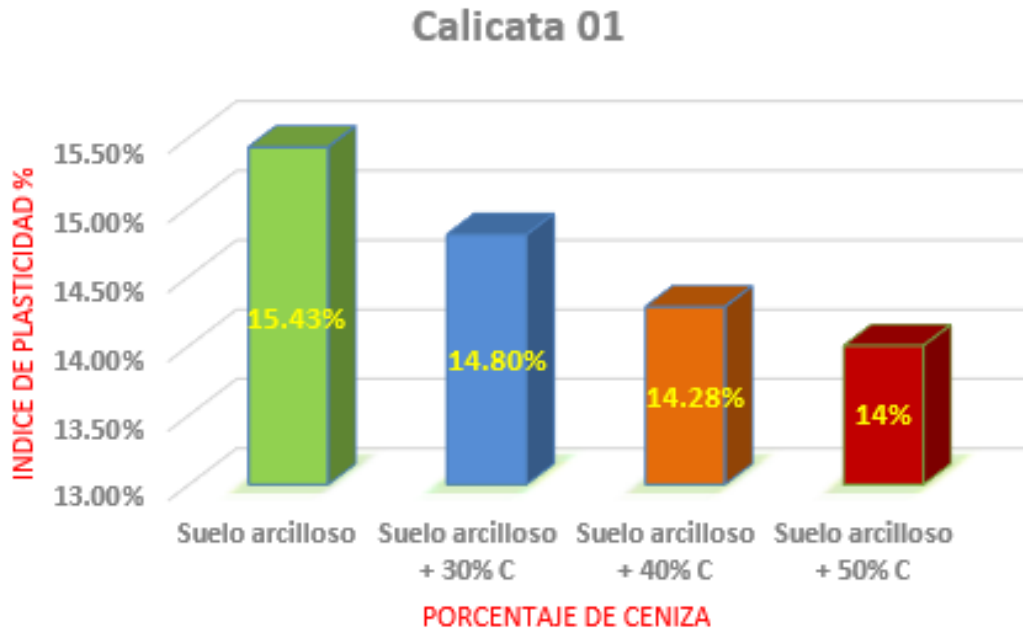


FIGURA 39 Resultado índice de plasticidad calicata 01 (Elaboración Propia).

En el suelo de la muestra dos sin estabilizar que tenía un índice de plasticidad inicial de 27.12. Al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % disminuyo a 20.31.

Resultado de índice de plasticidad calicata N°2

	Suelo Solo	Suelo + 30%C	Suelo + 40%C	Suelo + 50%C
Límite Líqui. (LL) =	53.15	47.00	43.12	38.40
Límite Plást. (LP) =	26.03	20.93	18.85	18.09
Índice de Plást. (IP) =	27.12	26.07	24.27	20.31

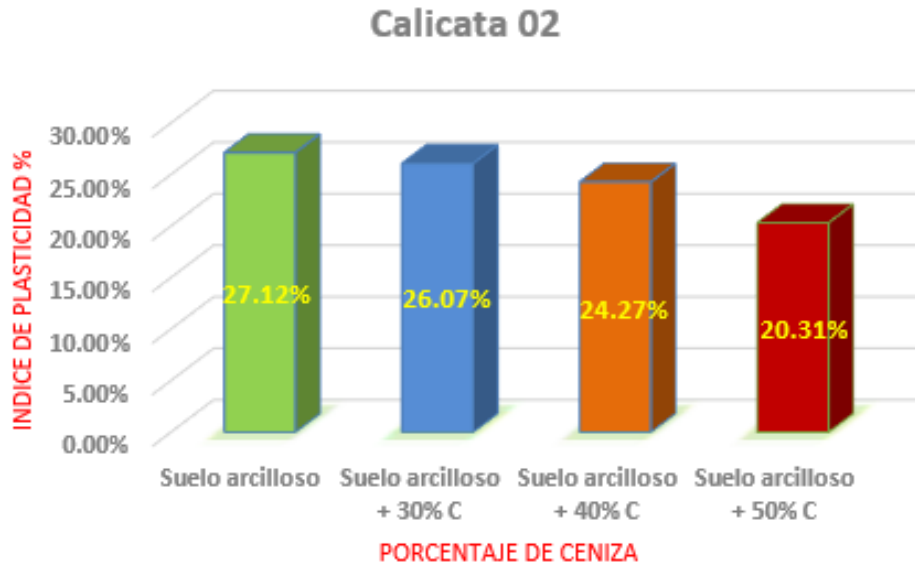


FIGURA 40 Resultado índice de plasticidad calicata 01 (Elaboración Propia).

4.3. Ensayo de Proctor modificado (método A).

En las dos muestras de suelo se ha presentado un visible aumento con respecto a su Humedad óptima. Del suelo de la muestra uno sin estabilizar que tenía una Humedad óptima de 14.46%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % alcanzó una Humedad óptima de 19.54%. (Tabla N°75, pág. 132).

Resultado de Proctor modificado de la calicata N°1

	Suelo Solo	Suelo + 30% C	Suelo + 40% C	Suelo + 50% C
Contenido de Humedad Óptimo (%)	14.46	19.3	21.91	19.54
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.9	1.71	1.68	1.68

Resultado de Proctor modificado de la calicata N°2

	Suelo Solo	Suelo + 30% C	Suelo + 40% C	Suelo + 50% C
Contenido de Humedad Óptimo (%)	16.46	17.65	20.56	18.63
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.8	1.76	1.67	1.66

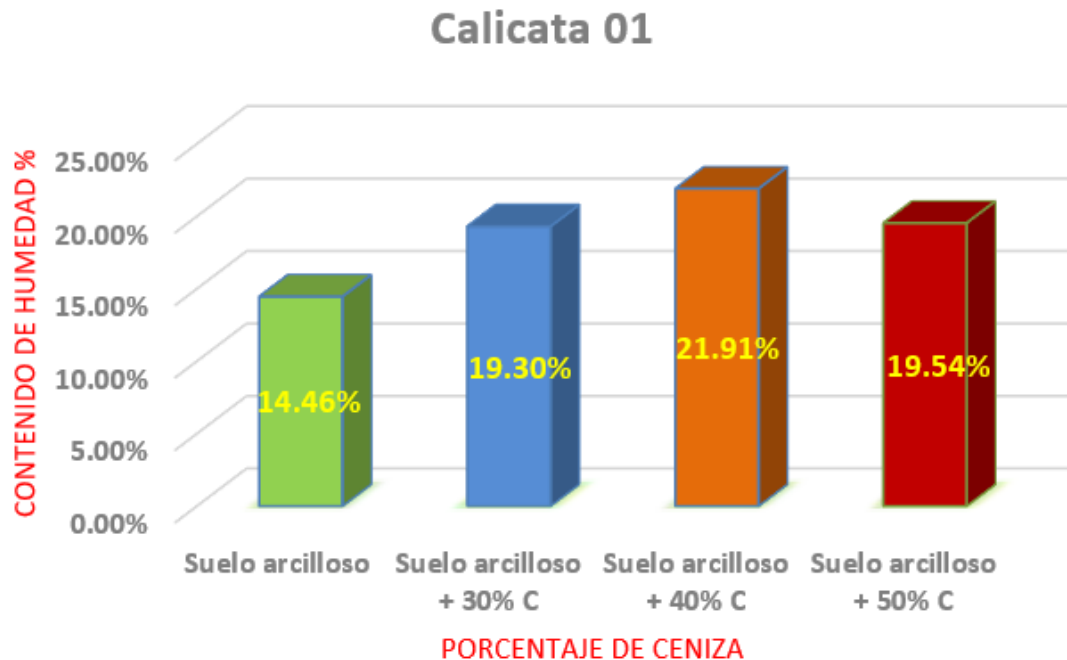


FIGURA 41 Resultado de contenido de humedad óptimo de la calicata 01 (elaboración propia)

Del suelo de la muestra dos sin estabilizar que tenía una Humedad óptima de 16.46%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % alcanzó una Humedad óptima de 18.61%. (Tabla N°80, pág. 141).

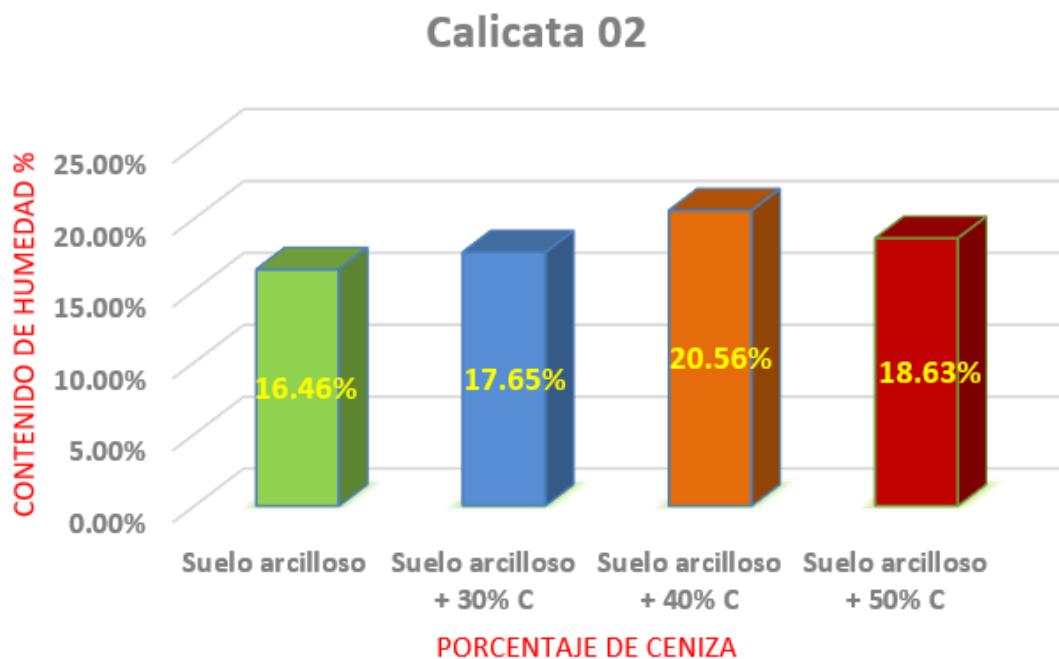


FIGURA 42 Resultado de contenido de humedad óptimo de la calicata 02 (elaboración propia)

En las dos muestras de suelo se ha presentado una visible disminución con respecto a su Densidad Máxima Seca. Del suelo de la muestra uno sin estabilizar que tenía una Densidad Máxima Seca inicial de 1.90 gr/cm³, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % alcanzó una Densidad Máxima Seca de 1.68 gr/cm³. (Tabla N°75, pág. 132).

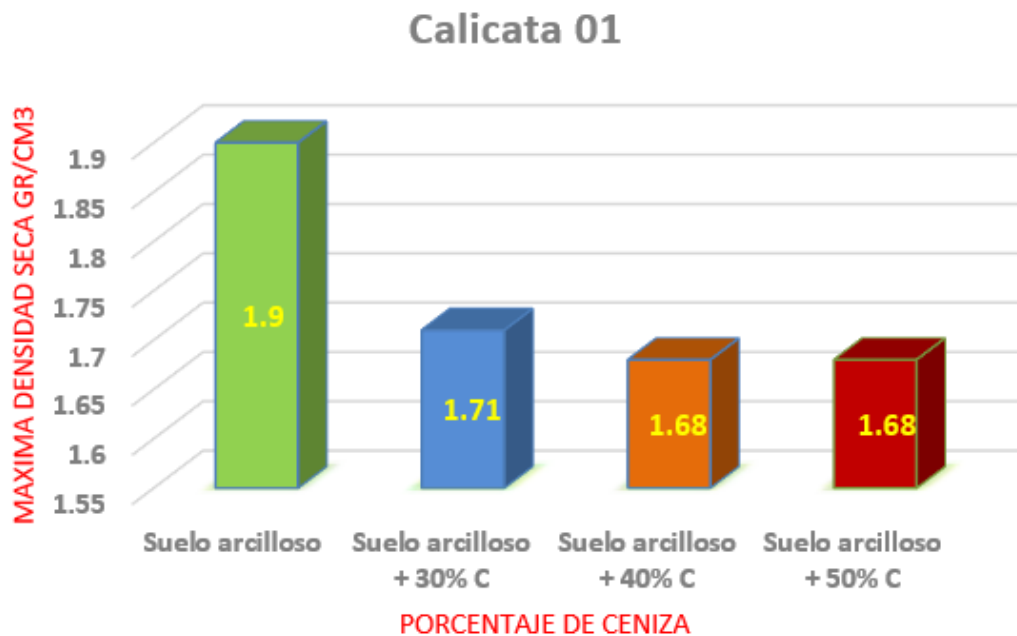


FIGURA 43 Resultado de máxima densidad seca de la calicata 01 (elaboración propia)

Del suelo de la muestra dos sin estabilizar que tenía una Densidad Máxima Seca inicial de 1.80 gr/cm³, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % se alcanzó una Densidad Máxima Seca de 1.75 gr/cm³. (tabla N°80, pág. 141).

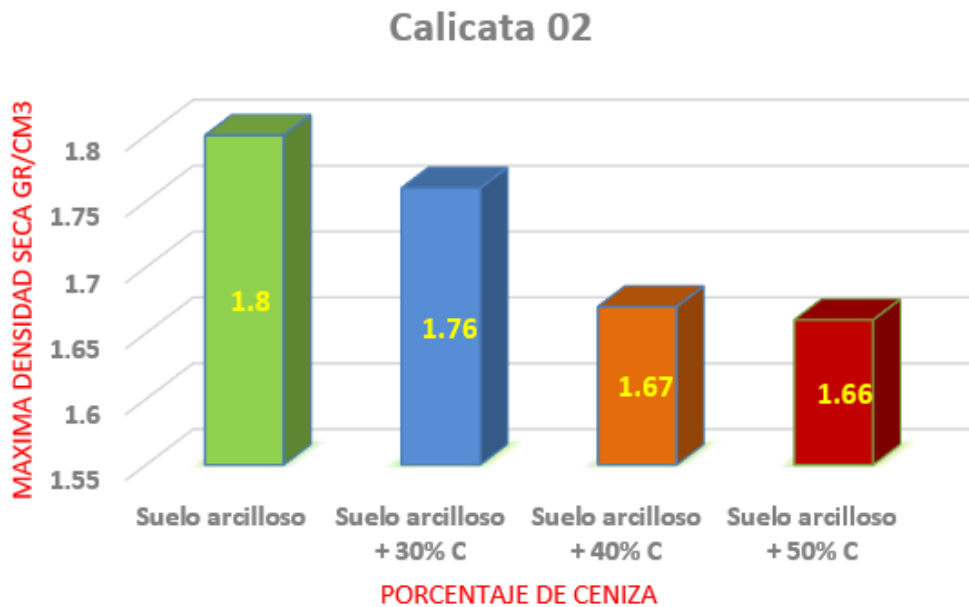


FIGURA 44 Resultado de máxima densidad seca de la calicata 02 (elaboración propia)

4.4. Ensayo de CBR.

En las dos muestras de suelo se ha presentado un visible incremento con respecto a su CBR. Del suelo de la muestra uno sin estabilizar que tenía un CBR de 13.65%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % alcanzó un CBR de 49.12%. (tabla N°85, pág. 155)

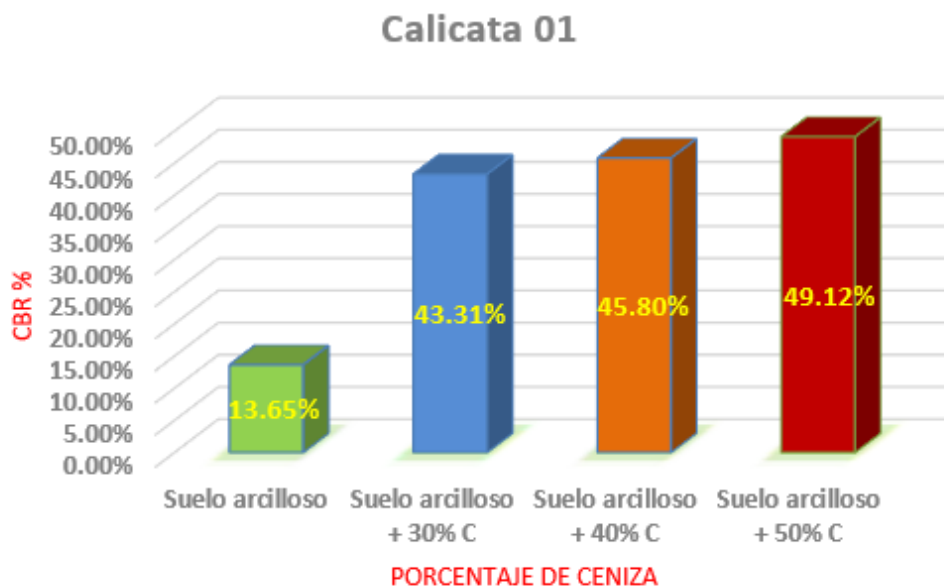


FIGURA 45 Resultado de CBR de la calicata 01 (elaboración propia)

Del suelo de la muestra dos sin estabilizar que tenía un CBR de 2.89%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero al 50 % alcanzó un CBR de 46.28%. (tabla N°90, pág. 169)

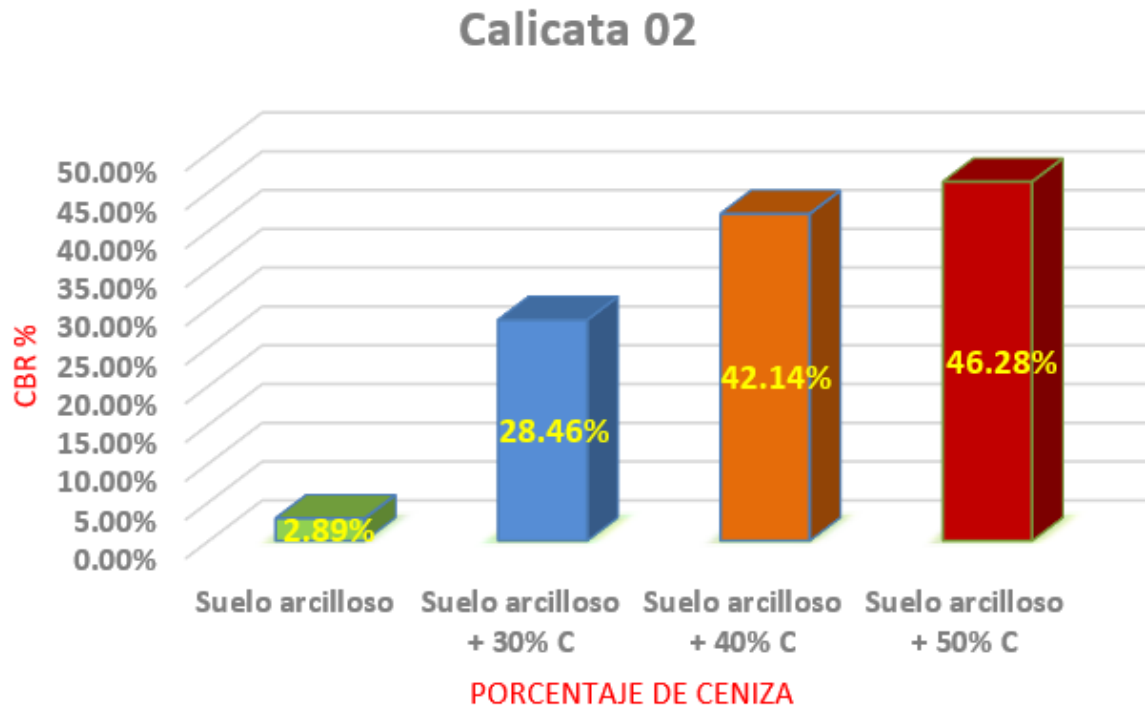


FIGURA 46 Resultado de CBR de la calicata 02 (elaboración propia).



CAPÍTULO V



5. CAPITULO V: DISCUSIÓN.

- **¿Cuál es la razón de haber escogido el suelo de la zona ladrillera San Jerónimo?**

Por conocimientos e investigaciones anteriores, se conoce que la zona es rica en arcilla con lo cual se realiza la fabricación de ladrillos y tejas con estos elementos. La arcilla por sus propiedades deficientes se recomienda su estabilización y es óptima para la idea de investigación que se tiene.

- **¿Por qué se eligió estabilizar con ceniza de fondo de horno ladrillero?**

La Ceniza de fondo es un insumo que produce de la quema de varios materiales como madera, aserrín, etc. Que, al ser un residuo desechado, esta produce contaminación, siendo este el motivo por el cual se eligió, para de alguna manera reducir dicha contaminación, también que al mezclarse con la arcilla esta disminuye la humedad haciendo que al momento de soportar solicitaciones de carga estas sean distribuidas a lo largo de todos los especímenes de estudio.

- **¿A qué se deben los porcentajes de 30, 40 y 50% de ceniza de fondo de horno ladrillero?**

Al revisar los resultados de investigaciones anteriores, pudimos comprender que a mayor porcentaje de ceniza añadido al suelo, las propiedades del suelo también serán mejores, además de la fácil dosificación y preparación de los ensayos realizados, por tal motivo se optó los porcentajes de 30, 40 y 50%.

- **¿Por qué se optó por realizar la compactación de muestras de suelo?**

Para tener un patrón de comparación entre el valor de compactación entre dos muestras uno de suelo natural compactado a su Contenido de Humedad Óptima, y otros suelos estabilizado con ceniza de horno ladrillero a diferentes porcentajes 30,40 y 50%.

- **¿A qué se deben las variaciones de los porcentajes del contenido de humedad óptimo en el ensayo de Proctor y la determinación en el CBR?**

Las variaciones en el porcentaje del contenido de humedad óptimo, en el ensayo de Proctor modificado y el CBR se debe a la pérdida de humedad indirecta debido al transporte a la cual se somete el material para realizar los ensayos correspondientes.



- **¿Por qué se realizaron 3 ensayos a cada muestra dependiendo del experimento que se realiza?**

Se realizó tres veces el ensayo para tener una mejor medida de comparación de los resultados de cada experimento, ya que se solo se realizaría uno no podría ser confiable, y si se incrementan el número de ensayos tendía una menor dispersión. Se optó por tres para poder comparar de mejor manera los resultados que se obtienen entre sí.

- **¿Se ha utilizado o se tiene conocimiento del uso de ceniza de horno ladrillero como aditivo mejorador del suelo en la ciudad del Cusco?**

Tras la investigación realizada no se tiene conocimiento del uso de la ceniza de fondo de horno ladrillero como aditivo que pueda mejorar suelos de similares características, en obras de gran envergadura, en la ciudad del Cusco.

6. GLOSARIO.

- **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
- **Compactación:** Consolidación natural del suelo por el peso de los sedimentos o compresión similar mediante el apisonado con rodillo de un árido.
- **Estabilización de suelos:** La estabilización de un suelo es un proceso que tiene como objetivo mejorar sus propiedades como su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión y los cambios de volumen.
- **Arcilla:** Material terroso, compuesto de silicatos alumínicos hidratados; se hace muy plástico al estar empapado de agua y se contrae y endurece por calcinación.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para ensayos de Materiales.
- **Contenido óptimo de humedad:** Contenido de agua del terreno que permite obtener una densidad máxima mediante su compactación.



- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
- **DSM:** Densidad máxima seca de un suelo.
- **Tamiz:** Malla metálica de diferentes aberturas empleada para selección de áridos, arenas y gravas según su granulometría a fin de agregar los mismos a la mezcla para la preparación de morteros y hormigones.
- **Resistencia:** Una de las formas más usuales para elevar la resistencia del suelo es la compactación, pero surge problemas cuando el suelo contiene importantes contenidos de materia orgánica, por lo que existen otros métodos como la precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos, estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. La resistencia de los suelos, con algunas excepciones, es en general más baja cuando mayor es su contenido de humedad.
- **Carreteras no pavimentadas:** Camino en que la superficie de rodadura es el terreno natural, nivelado y compactado mediante el uso de herramientas o maquinarias simples.
- **Cenizas de Fondo:** Son materiales silíceos o aluminio-silíceos que reaccionan químicamente con cal hidratada a temperatura ambiente y en presencia de humedad para formar un material resistente.
- **Horno Ladrillero:** Hornos artesanales usados para la fabricación de ladrillos de arcilla. Los cuales generan toneladas de ceniza de fondo.
- **Límite líquido:** El límite líquido se define como el contenido de humedad con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm².
- **Límite plástico:** Es el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. El límite plástico se determina con el material sobrante del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta obtener una mezcla plástica que sea moldeable.



- **Prueba Proctor:** La prueba Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.
- **Prueba Proctor estándar:** Esta prueba tiene como finalidad determinar el peso unitario seco máximo de compactación Proctor y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Esta prueba sirve también para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación. -
- **Prueba Proctor modificado:** Aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo.
- **Resistencia al esfuerzo cortante:** Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y afirmado de un pavimento.
- **Subrasante:** Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

7. CONCLUSIONES.

Conclusión general

Se logró demostrar la hipótesis general: “La adición de ceniza de fondo influirá positivamente en el proceso estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub- rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco”, debido a la adición de la ceniza de fondo de horno ladrillero, en proporciones de: 30%, 40% y 50% al suelo arcilloso de la zona de ladrillera del distrito de San Jerónimo – Cusco. Se concluye que ambas muestras de suelo pueden ser usadas para la estabilización a nivel sub-rasante, ya que cumplen satisfactoriamente con los parámetros de las normas, Norma Técnica Peruana CE.010 (Pavimentos Urbanos) & CE.020

(Estabilización de Suelos y Taludes).

CONCLUSIÓN N°01 Se demostró la sub hipótesis N°01 “La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que disminuya el índice de plasticidad de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.” debido a la adición de la ceniza de fondo de horno ladrillero, el índice de plasticidad que se encontró al inicio (Suelo Solo), disminuyó con la adición de cada porcentaje de ceniza de fondo antes mencionado, beneficiando a las características físicas del suelo arcilloso que se sustentan con los resultados mostrados en las imágenes N°40, N°41.(pág. 177, 178).

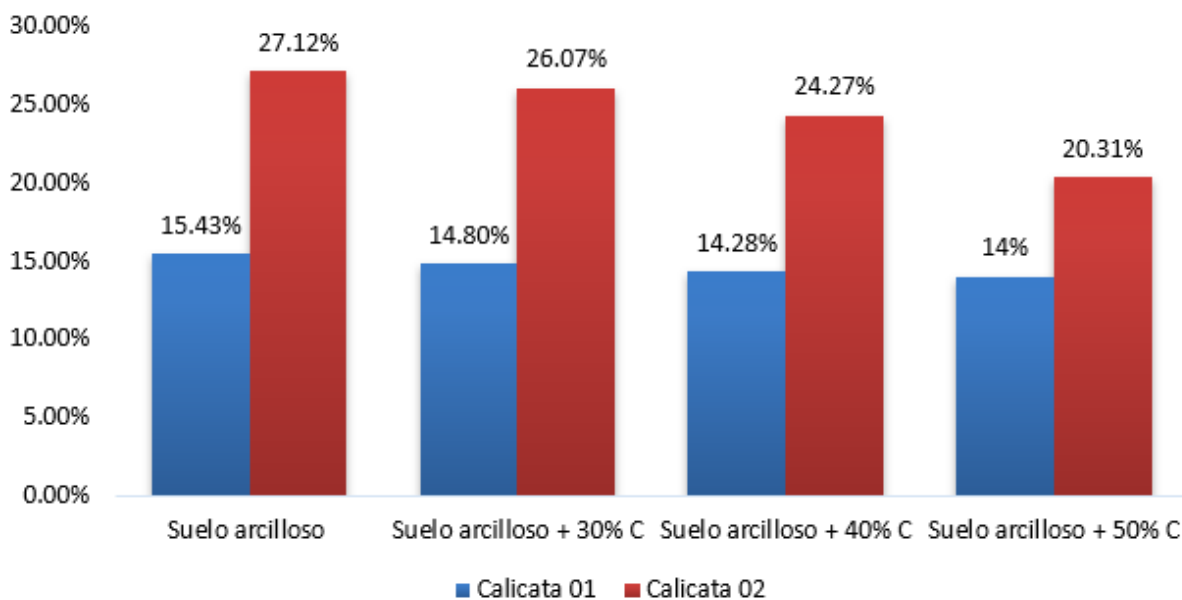


FIGURA 47 Resumen de resultados de índice de plasticidad de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).

CONCLUSIÓN N°02 Se ha demostrado la sub hipótesis N°02 “La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que aumente el contenido de humedad óptimo y disminuya la densidad máxima seca de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.” debido a la adición de la ceniza de fondo de horno ladrillero, se concluye que en efecto la densidad máxima disminuye notablemente, a diferencia del Contenido de Humedad Óptimo que asciende, como se puede ver sustentado con los resultados de las imágenes N°42-45 (pág. 179-181).

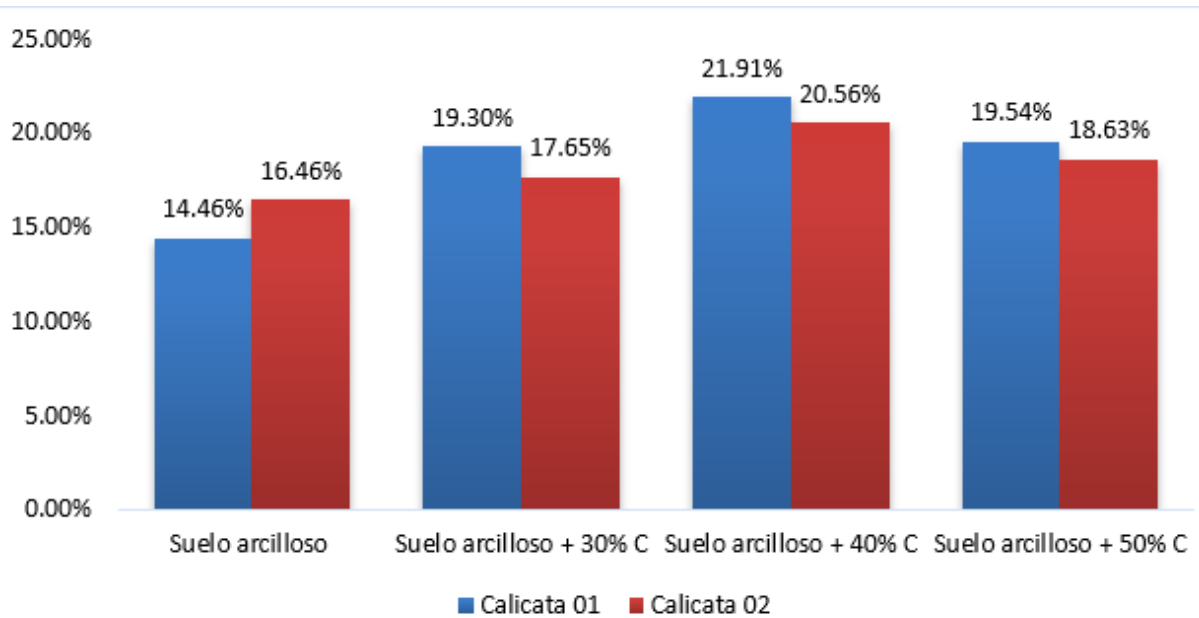


FIGURA 48 Resumen de resultados de Contenido de Humedad Optimo de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).

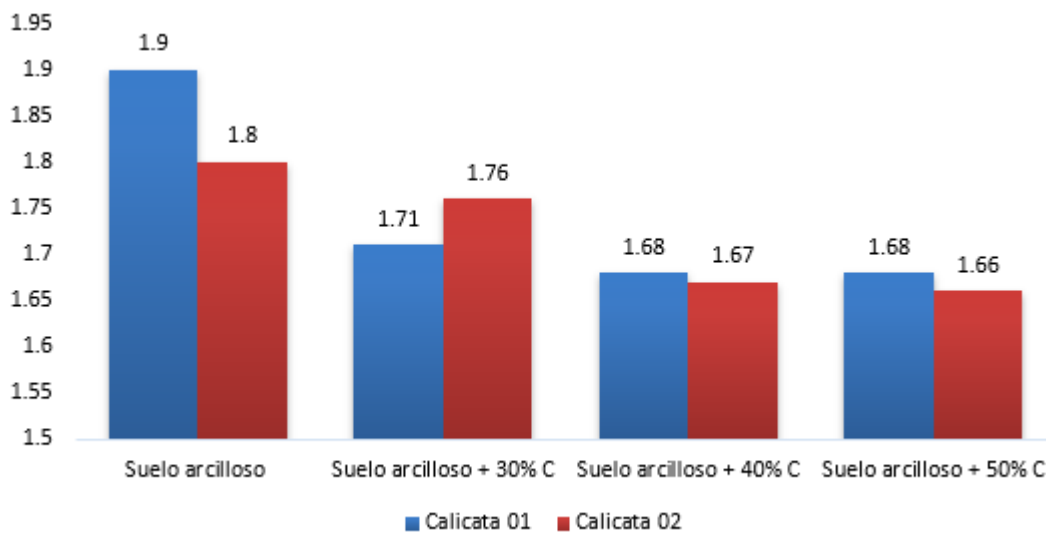


FIGURA 49 Resumen de resultados de Densidad Máxima Seca de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).

CONCLUSIÓN N°03 Se ha demostrado la sub hipótesis N°03 “La adición de ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50% hará que incremente la capacidad de soporte de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de san Jerónimo – Cusco.” debido a la adición de la ceniza de fondo de horno ladrillero, la

capacidad de soporte se incrementa como se puede ver sustentado con los resultados de las imágenes N°46 y N°47.(pág. 181-182).

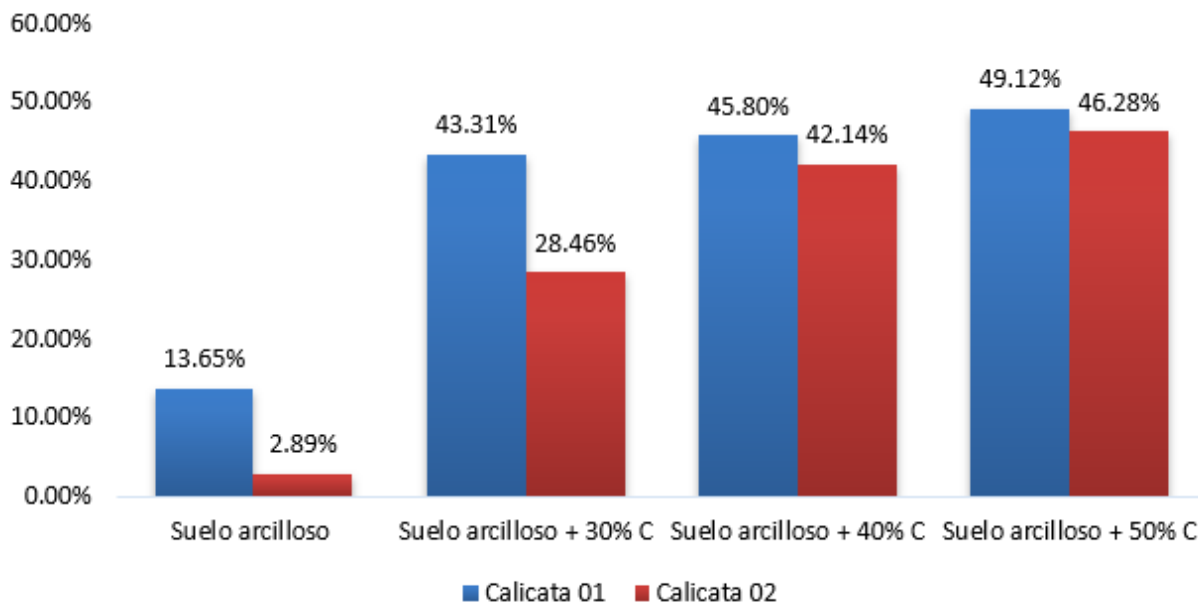


Figura 50 Resumen de resultados de CBR de las calicatas 01 y 02. (elaboración propia).

8. RECOMENDACIONES.

RECOMENDACIÓN N°01 Se recomienda realizar otros ensayos en el suelo arcilloso estabilizado como Gravedad específica, Consolidación Unidimensional y Corte directo para conocer mejor sus propiedades y de esa manera tener una investigación más completa también se recomienda realizar el ensayo de durabilidad del suelo de esta manera poder estimar la resistencia del suelo al deterioro por acción de los agentes climáticos durante su vida útil y por último se recomienda que las futuras investigaciones realicen el ensayo de permeabilidad para así tener conocimiento de la cantidad de filtración de agua que tendrá el suelo estabilizado.

RECOMENDACIÓN N°02 Se recomienda usar 50% de ceniza de fondo en función al peso del suelo arcilloso, ya que es la muestra de suelo que presenta mejor comportamiento en el índice de plasticidad disminuyendo de 15.43% a 14.00%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero.

RECOMENDACIÓN N°03 Se recomienda usar 50% de ceniza de fondo en función al peso del suelo arcilloso, ya que es la muestra de suelo que presenta mejor



comportamiento en la densidad máxima reduciendo de 1.8 gr/cm³ a 1.66 gr/cm³ y aumentando el contenido de humedad óptimo de 16.46% a 18.63%.

RECOMENDACIÓN N°04 Se recomienda usar 50% de ceniza de fondo en función al peso del suelo arcilloso, ya que es la muestra de suelo que presenta mejor comportamiento en el CBR llegando a incrementar de 2.85% a 46.28%, al ser estabilizado con ceniza de fondo de horno ladrillero.

RECOMENDACIÓN N°05 Se recomienda realizar ensayos químicos a la ceniza de fondo de horno ladrillero para clasificarla correspondiente y comprender de mejor el comportamiento que tiene al mezclarse con otros compuestos como ceniza-cal o ceniza-cemento.



9. BIBLIOGRAFIA.

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (2da Edición ed.). México D.F., México: Limusa S.A.

Bernal, C. (2002). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Pearson Educación.

Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México: McGraw-Hill.

Braja, M. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (5ta Edición ed.). México D.F.: Cengage Learning.

Callister, W. J. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1*. Barcelona: Reverté.

Cruz Lopez, M. (Enero de 2001). *Mejoramiento de Suelos con Aplicación a un caso Práctico*. Naucalpan, Juarez, México.

Cubas Benavides, Kevin & Falen Chavez, Jose Carlos, (2016). *Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas (tesis pregrado)*. Universidad Señor de Sipan, Perú.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2000). MTC E 108 - 2000. *Método para determinar la Humedad de un Suelo*. Lima, Perú.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2000). MTC E 115 - 2000. *Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando una Energía Modificada*. Lima, Perú.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2000). MTC E 116-2000. *Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando Energía Estandar*. Lima, Perú.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Manual de Carreteras - "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"*. Lima.

Foccal. (2013). *Temas de Interés Foccal*. Recuperado el 24 de Abril de 2015, de Foro de Construcción con cal: <http://www.foccal.org/portal/temas-interes/metodo-de-prueba-de-eades-y-grim>

García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (s.f.). *Las Arcillas: Propiedades y Usos*. Recuperado el 16 de Abril de 2014, de Universidad de Castilla-La Mancha: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm#Esfil>

Hernandez Sampieri, R. (2007). *Metodología de la Investigación*. México.



Kong & Sanjayan, (2008), Comportamiento de daños de los compuestos de geopolímeros expuestos a temperaturas elevadas, Universidad de Monash (Australia).

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). CE.010. PAVIMENTOS URBANOS. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2012). CE.020. *Estabilización de suelos y Taludes*. Lima, Perú.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.

MTyC. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.

Ravines Merino, M. (23 de Agosto de 2010). Tesis: "Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras". Piura, Piura, Perú.

Umaña Peña J, (2002), Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón, Universidad Politècnica de Catalunya.

Sharma, Swain, & Sahoo (2012), Estabilización de un suelo arcilloso con cenizas volantes y cal: una investigación a nivel micro, Ingeniería Geotécnica y Geológica, Estados Unidos.

Swisscontact (2012), Perú Memoria Anual 2012, Lima, Perú.

https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Memoria_Anual_2012.pdf.



10. ANEXOS



Matriz de consistencia

"EVALUACION DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS PROVENIENTES DE LA ZONA LADRILLERA DEL DISTRITO DE SAN JERONIMO- CUSCO"					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL			
¿Cómo influye la adición de cenizas de fondo en el proceso de estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub-rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco?	Evaluar cómo influye la adición de cenizas de fondo en el proceso de estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub-rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.	La adición de ceniza de fondo influirá positivamente en el proceso estabilización de suelos arcillosos a nivel de sub-rasante, provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco.	VARIABLE INDEPENDIENTE: - Cenizas de fondo de horno ladrillero. VARIABLE DEPENDIENTE: - Estabilización de Suelos Arcillosos.	INDICADORES DE V. INDEPENDIENTE - Porcentaje de Ceniza de Fondo. - Tamaño de Ceniza de Fondo. INDICADORES DE V. DEPENDIENTE - Índice de Plasticidad (IP). - Contenido de Humedad Óptimo (CHO) - Densidad Seca Máxima (DSM). - CBR al 100% de la DSM. - CBR al 95% de la DSM.	- Hoja de Registro. - Hoja de Registro. - Guía de Laboratorio. - Guías de Laboratorio. - Guías de Laboratorio. - Guías de Laboratorio.
PROBLEMA ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	SUB HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cuánto se modifica el índice de plasticidad de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%?	Determinar el índice de plasticidad un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo, en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	El índice de plasticidad de un suelo arcilloso de la zona de ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, disminuirán al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	VARIABLE INDEPENDIENTE: - Cenizas de fondo de horno ladrillero. VARIABLE DEPENDIENTE: - Plasticidad de Suelos Arcillosos.	INDICADORES DE V. INDEPENDIENTE - Porcentaje de Ceniza de Fondo. - Tamaño de Ceniza de Fondo. INDICADORES DE V. DEPENDIENTE - Limite Liquido (LL) - Limite Plástico (LP) - Índice de Plasticidad (IP)	- Hoja de Registro. - Hoja de Registro. - Guías de Laboratorio - Guías de Laboratorio - Guías de Laboratorio
¿Cuánto se modifica el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%?	Determinar el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca de un suelo proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo, en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	El contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca de un suelo arcilloso de la zona de ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, aumentará disminuirá respectivamente al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	VARIABLE INDEPENDIENTE: - Cenizas de fondo de horno ladrillero. VARIABLE DEPENDIENTE: - Contenido de Humedad de Suelos Arcillosos. - Densidad Seca Máxima de Suelos Arcillosos	INDICADORES DE V. INDEPENDIENTE - Porcentaje de Ceniza de Fondo. - Tamaño de Ceniza de Fondo. INDICADORES DE V. DEPENDIENTE - Contenido de Humedad Óptimo (CHO) - Densidad Seca Máxima (DSM)	- Hoja de Registro. - Hoja de Registro. - Guías de Laboratorio - Guías de Laboratorio
¿Cuánto se modifica la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo arcilloso proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%?	Determinar la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo proveniente de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, al adicionar ceniza de fondo, en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	La resistencia al esfuerzo cortante de un suelo arcilloso de la zona de ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco, se incrementará al adicionar ceniza de fondo en porcentajes de 30%, 40% y 50%.	VARIABLE INDEPENDIENTE: - Cenizas de fondo de horno ladrillero. VARIABLE DEPENDIENTE: - Índice de CBR de Suelos Arcillosos	INDICADORES DE V. INDEPENDIENTE - Porcentaje de Ceniza de Fondo. - Tamaño de Ceniza de Fondo. INDICADORES DE V. DEPENDIENTE - CBR al 100% de la DSM - CBR al 95% de la DSM	- Hoja de Registro. - Hoja de Registro. - Guías de Laboratorio - Guías de Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia