

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Influencia de la Ceniza de Fondo para la Estabilización de Suelos
Arcillosos a Nivel de Subrasantes**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Elvis Alexander Calizaya Sacari

David Juchani Chura

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, diciembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Rina Luzmeri Yampara Ticona, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES”** de los autores **Elvis Alexander Calisaya Sacari** y **David Juchani Chura** tiene un índice de similitud de 20% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 09 días del mes de abril del año 2024.



Rina Luzmeri Yampara Ticona

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 28 día(s) del mes de diciembre del año 2023 siendo 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Nerson Duberly Pari Lusi el (la) secretario(a): Mg. Edwin Parillo Escarsena y los demás miembros: Ing. Moises Araca Chile y el (la) asesor(a) Ing. Rina Luzmeri Yampara

Bicena con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Influencia de la Geniza de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasante

del(los) bachiller(es): a) Chris Alexander Galizaya Sacari
 b) David Tuchani Ghura
 c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniería Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Chris Alexander Galizaya Sacari

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (b): David Tuchani Ghura

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


 Presidente/a

 Asesor/a

 Bachiller (a)

 Miembro
 Bachiller (b)

 Secretario/a
 Miembro
 Bachiller (c)

DEDICATORIA.

Elvis Alexander Calisaya Sacari: Dedico con todo mi corazón esta investigación a mi padre Roger Rubén Calizaya Yujra y a mi abuelita Antonia Yujra Limachi por haberme forjado y fomentado el deseo de superación en mi como persona. Pues sin ellos no lo habría logrado.

David Juchani Chura: El presente trabajo se lo dedico con mucho amor a mis queridos padres; Renilda Chura Aquino y Mauro Julián Juchani Bonifacio, quienes con su esfuerzo y constante amor me impulsaron para cumplir mis metas día a día.

AGRADECIMIENTO.

Primeramente, se agradece a Dios por permitirnos realizar este trabajo de investigación, continuamente a nuestro asesor Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona, quien, con su conocimiento y constante dedicación, nos dio la orientación necesaria para concretar la presente investigación a pesar de las adversidades que se presentaron en el trayecto de la investigación.

A nuestros familiares y seres queridos, quienes siempre nos alentaron y ayudaron en todo momento para concluir el presente trabajo de investigación satisfactoriamente.

INDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE anexos.....	x
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. METODOLOGÍA.....	15
3. RESULTADOS.....	16
3.1. Propiedades físicas del suelo natural de las 06 calicatas.....	16
3.2. Propiedades mecánicas del suelo natural a nivel de subrasante	17
3.3. Propiedades físicas - Ceniza de fondo.....	18
3.4. Propiedades químicas - Ceniza de fondo.....	19
3.5. Parámetros e indicadores de la estabilización para una subrasante	20
3.6. Límite líquido.....	20
3.7. Límite plástico	21
3.8. Propiedades mecánicas del suelo con Ceniza de fondo	23
3.9. Expansión en estado saturado.....	25
3.10. CBR (%) al 95% de su Máxima densidad seca.....	26
3.11. Categoría de Subrasante según su CBR.....	27
3.12. Diseño de pavimento método Manual de Carreteras.....	27
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30

4.1. Análisis comparativo de resultados con Cal	32
5. CONCLUSIONES.....	33
6. REFERENCIAS.....	36
ANEXOS	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas del suelo	17
Tabla 2: Propiedades mecánicas del suelo natural.	17
Tabla 3 Ceniza de fondo - Propiedades físicas	18
Tabla 4 Ceniza de fondo - Propiedades químicas	19
Tabla 5 Requisitos de Subrasante Físico - Mecánicas	20
Tabla 6 Comportamiento del Límite Líquido del suelo con Ceniza de fondo	20
Tabla 7 Comportamiento del límite plástico del suelo con Ceniza de fondo	21
Tabla 8 Comportamiento del Índice de Plasticidad en suelos estabilizado con Ceniza de Fondo	22
Tabla 9 Comportamiento de la Densidad Seca y % Humedad optimo en suelo estabilizado con Ceniza de fondo	23
Tabla 10 Comportamiento de la expansión en suelos estabilizados con Ceniza de Fondo	25
Tabla 11 Comportamiento del CBR al 95% de su MDS en suelos estabilizados con Ceniza de fondo	26
Tabla 12 Parámetros de CBR para una subrasante	27
Tabla 13 Valor Comportamiento del CBR al 95% de MDS en suelos estabilizados con Ceniza de fondo	29
Tabla 14 Espesor del pavimento en función al CBR, estabilizada la subrasante con Ceniza de Fondo	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica del suelo natural	16
Figura 2. Carta de plasticidad.....	16
Figura 3. Curva Granulométrica de la ceniza de fondo.....	18
Figura 4. Temperatura del horno de la fábrica de ladrillera	19
Figura 5. Comportamiento del Límite Líquido del suelo estabilizado en porcentajes de 10, 15, 20% de Ceniza de fondo	21
Figura 6. Comportamiento del Límite Plástico del suelo estabilizado con Ceniza de fondo	22
Figura 7. Comportamiento del Índice de Plasticidad en suelos estabilizado con Ceniza de fondo	23
Figura 8. Comportamiento de la Densidad en suelos estabilizados con Ceniza de fondo	24
Figura 9. Comportamiento de la expansión con adición de Ceniza de Fondo	25
Figura 10. Comportamiento del CBR en suelos estabilizados con Ceniza de fondo	26
Figura 11. Comportamiento del CBR en comparación a la estabilización con Cal	32
Figura 12. Comportamiento de la Máxima densidad seca en comparación con Cal.....	32

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS A. Evidencia de sumisión del artículo de una revista de prestigio.....	40
ANEXOS B. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo.	41
ANEXOS C. Copia de la resolución del Comité Dictaminador de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo.....	42
ANEXOS D. Copia de la resolución Expedido para la sustentación la tesis en formato artículo titulada	43
ANEXOS E. Instrumentos de recolección de datos	44

Influencia de la Ceniza de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasantes.

RESUMEN

La presente investigación tiene por finalidad determinar la influencia de la Ceniza de Fondo para la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante; este trabajo siguió una metodología cuasi experimental con un enfoque cuantitativo de tipo comparativo; el estudio de 06 calicatas de muestra de suelo natural de una vía principal de la ciudad de Juliaca, se realizaron ensayos de Granulometría, límites de Atterberg, clasificación, gravedad específica, Densidad Natural, Proctor y CBR; por otro lado, la Ceniza de Fondo se obtuvo de fábricas ladrilleras artesanales; se realizó ensayos de Granulometría, Gravedad específica, temperatura y propiedades químicas. Se realizaron mezclas de suelo con porcentajes de 10, 15 y 20% de ceniza de fondo, se analizaron el comportamiento de los límites, Proctor, CBR del cual se hizo el diseño de pavimento bajo la metodología AASTHO – MTC 2014 al suelo natural y estabilizada. Los resultados obtenidos muestran que el suelo es de tipo CL, los límites disminuyen en relación directa al porcentaje de ceniza de fondo; la máxima densidad seca no varía de manera significativa, el CBR se incrementa con la adición de ceniza de fondo y se realizó el diseño de pavimento obteniendo un valor mínimo de 21.58 cm con la adición del 20% ceniza de fondo. Concluyendo que la ceniza de fondo incrementa el CBR de suelos arcillosos tipo CL, estabiliza y mejorar las características mecánicas del suelo arcilloso con la adición del 10, 15 y 20% de Ceniza de fondo para uso en una subrasante.

Palabras Clave: Influencia, Ceniza de fondo, Suelo Arcilloso, Subrasante, Estabilización de suelos.

Influence of Bottom Ash for the Stabilization of Clay Soils at the Level of Subrasantes.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to determine the influence of Bottom Ash for the stabilization of clay soils at the subgrade level; Therefore, this work followed a quasi-experimental methodology with a quantitative and comparative approach; For the study, 06 soil sample pits were taken at subgrade level, from a main road in the city of Juliaca, to which granulometry tests, Atterberg limits, classification (SUCS and AASTHO system), specific gravity tests were carried out. and Natural Density; In addition, Proctor and CBR tests were performed; On the other hand, the Bottom Ash was obtained from artisanal brick factories; and granulometry, specific gravity, temperature and chemical properties tests were carried out in the laboratory; Next, soil mixtures were made with percentages of 10, 15 and 20% of bottom ash and the behavior of the Atterberg, Proctor and CBR limits were analyzed; Finally, the pavement design was carried out using the AASTHO – MTC 2014 methodology with the CBR percentage of the natural and stabilized subgrade with bottom ash. The results obtained show that the soil is of a CL type, the Atterberg limits decrease in direct relation to the percentage of bottom ash; the density does not present significant changes; Furthermore, the CBR increases for all ash contents. On the other hand, the thickness of the pavement slab was determined to be 21.58 cm with the addition of 20% bottom ash. Concluding that bottom ash increases the CBR value of CL type clay soils at the subgrade level, a result that is reflected in the 06 pits increasing the value by more than 100.00% with the addition of 15 and 20% of bottom ash.

Keywords: Influence, Bottom ash, Clay soil, Subgrade, Soil stabilization.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Das & González (2014), los suelos arcillosos se desempeñan por su capacidad para retener agua y adquirir una cohesión significativa cuando están húmedos, compuestos principalmente de partículas finas, como arcilla y limo altamente plásticos que contraen y expande con la presencia de agua, con poca cantidad de arenas y gravas; para Juárez & Rico (1977), los suelos arcillosos pueden presentar desafíos en proyectos de construcción, ya que su comportamiento plástico esto puede influir en la estabilidad de estructuras de edificios, presas y carreteras. Se deben tomar precauciones y medidas de mitigación adecuadas al trabajar con suelos arcillosos en obras.

La estabilidad de los suelos arcillosos es una preocupación fundamental en la construcción de obras viales. La capacidad de mantener la integridad de la subrasante de manera efectiva es elemental para garantizar que las obras viales sean duraderas y otras estructuras. En este contexto, la utilización de materiales estabilizantes ha ganado reconocimiento y relevancia en el proceso constructivo. Es por eso que se propone la Ceniza de Fondo, un subproducto del material utilizado para la quema y calentado del horno, además, se ha revelado que recursos similares a este material mejoran las propiedades mecánicas y geotécnicas de los suelos arcillosos. La presente investigación tiene el propósito de determinar la influencia de la ceniza de fondo como agente estabilizador de suelos arcillosos a nivel de subrasantes, explorar y determinar el uso apropiado de la propuesta. A través de esta investigación, buscamos proporcionar una base referencial de conocimiento que respalde la toma de decisiones informadas en la selección y aplicación de la ceniza de fondo en proyectos viales, con el fin de promover prácticas sostenibles y eficientes.

En la actualidad en Proyectos de Obras Viales se tiene la presencia de suelos arcillosos, en la cual se han planteado diferentes soluciones para mejorar sus propiedades ya sea durante o después de la construcción; “en el país existe suelos con baja capacidad portante, alto índice de plasticidad y alta permeabilidad, que conducen a cambios en su estado” (Purificación et al., 2021); por su parte Saquib & Showkat (2018), menciona que la decisión real y el alcance del fortalecimiento del suelo o la mejora del suelo aún dependen directamente de los requisitos técnicos apropiados o de los cambios que se esperan y también de la viabilidad económica de los procedimientos que debe seguir un ingeniero geotécnico. En la ciudad de Juliaca se cuenta con varias vías en pésimas condiciones debido a la insuficiente capacidad estructural del pavimento, y como ha mencionado líneas

arriba uno de los factores relacionados a la durabilidad de las carreteras es la propiedad mecánica de los suelos a nivel de la subrasante. La estabilización de subrasante es un procedimiento básico para la construcción de vías, existen suelos con alta expansión, afectando la calidad de los pavimentos (Arrieta et. al, 2020).

La Ceniza de Fondo pertenece al desecho luego de la incineración del material que queda asentada en el lugar de quema, al igual que la Ceniza Volante es la porción de ceniza que mediante los vientos internos escapa del lugar de quema. Ambos desechos de la incineración son considerados desechos inorgánicos (Calderero, 2022). La ceniza de fondo, es un material que ha sido objeto de interés en diversos campos, incluida la ingeniería civil y la construcción, debido a sus propiedades químicas, la propuesta en aplicación para la estabilización de suelos arcillosos.

Cifuentes y Ferrer mencionan que este material es un residuo ecológicamente problemático que debe ser eliminado por las ladrilleras artesanales ubicadas a la intemperie; esta práctica representa un peligro ambiental por la severa contaminación en contacto con el suelo, el aire y el agua (Huaquisto & Belizario, 2018).

Jittin et al. (2020), Ma et al. (2020) y Jafer et al. (2020) afirman que, la Ceniza de Cáscara de Arroz, el contenido óptimo de humedad incrementa y la densidad máxima seca del suelo reduce; respecto al CBR, Anjani et al. (2017) al igual que Jittin et al. (2020), determinaron que el 7.5% de ceniza incrementa hasta un 134% el valor de CBR respecto al suelo sin estabilizar; En la estudio de Chijioke & Donald (2019), el CBR en suelo natural se incrementó de 2 a 13% y al adicionar Ceniza de Cáscara de Arroz; Sarapu (2017), determinó que los porcentajes 6 y 8% del mismo material mejoró el suelo natural de 5 a 8.5% de CBR.

Todas estas afirmaciones nos llevan a concluir que la ceniza aplicada en suelos arcillosos mejora las propiedades mecánicas de su estado natural, en consecuencia, se pretende dar un enfoque de revaloración de residuos de la Ceniza de Fondo para uso en suelos de la subrasante de una vía para dar un uso ecológico y reducir la depredación de canteras.

2. METODOLOGÍA

El estudio se extrajeron la muestra de 6 calicatas de profundidad de 1.50 metros (Norma Técnica CE-010) como referencia al suelo de una subrasante, las cuales se encuentran ubicadas en la Av. Juliaca del Km 0+000 a 1+000 de la ciudad de Juliaca, se eligió dicha vía por la importancia que tiene en la ciudad, por consiguiente, se procedió a la caracterización del suelo y con la adición de ceniza de fondo en diferentes porcentajes los ensayos en laboratorio como: Granulometría (ASTM D 422, AASTHO T-11), Gravedad Especifica (ASTM D 854), Límites de Atterberg (ASTM D 4318), Máxima Densidad Seca (ASTM D 1556); además, los ensayos de Proctor Modificado (ASTM D 557) y CBR (ASTM D1883/AASTHO T-193).

Por otro lado, la Ceniza de Fondo fue obtenida del horno de las fábricas artesanales de ladrillos de la Ciudad de Juliaca, dicha ciudad cuenta con varias fábricas artesanales por la demanda de las construcciones que se realizan en zona, en el cual la Ceniza de Fondo es un material de desechos el cual no se utiliza; a la cual se realizó ensayos de Granulometría, Gravedad específica y límites de Atterberg, temperatura y composición química de la Ceniza de Fondo.

A fin de analizar la estabilización de los suelos arcillosos fueron necesarios realizar mezclas en diferentes porcentajes con la Ceniza de Fondo los cuales fueron 10, 15 y 20%, al peso de la muestra natural, para finalmente los realizar los siguientes ensayos: granulometría, gravedad específica, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y Valor de Soporte CBR; con la información obtenida en laboratorio se pudo observar el comportamiento de las mezclas realizadas en sus propiedades físicas – mecánicas. Por consecuencia se realizó en análisis comparativo con las diferentes investigaciones el comportamiento de la adición a un suelo arcilloso de tipo CL.

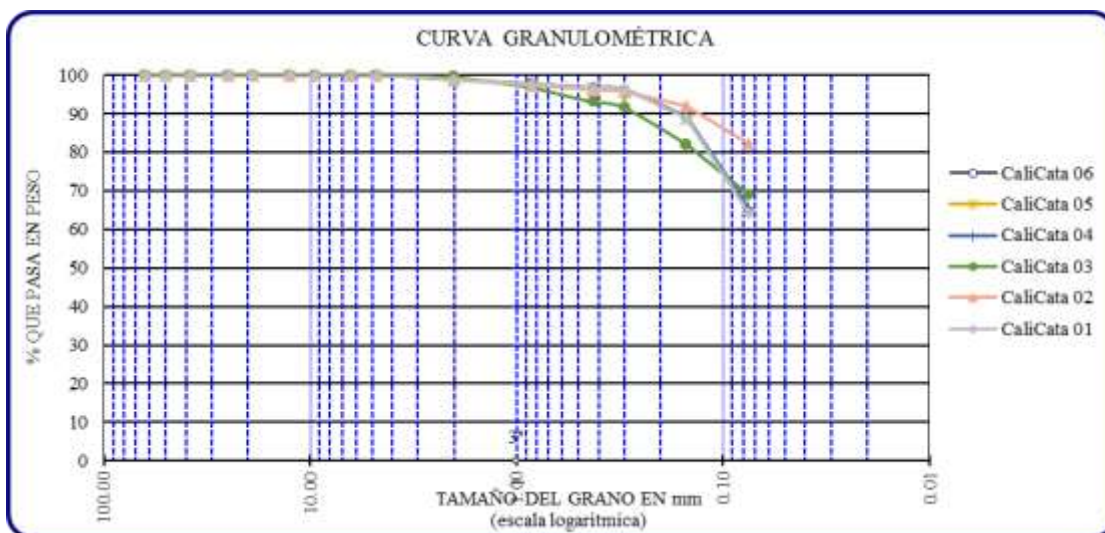
Finalmente, se realizó el diseño de pavimento rígido bajo los procedimientos según AASTHO, en el suelo en la subrasante sin estabilizar y el diseño del pavimento con una subrasante estabilizada con ceniza de fondo (10, 15 y 20%), para ello se consideró variables y parámetros convencionales de diseño de pavimentos de una vía de alto tránsito.

3. RESULTADOS

3.1. Propiedades físicas del suelo natural de las 06 calicatas

Figura 1.

Curva granulométrica del suelo natural

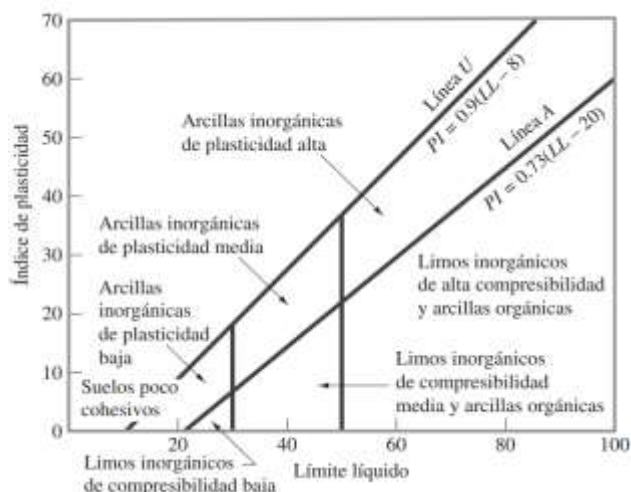


Nota: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la carta de plasticidad de las muestras de suelo para su respectiva clasificación en función al límite líquido e índice de plasticidad para establecer si el suelo es un de tipo Arcilloso.

Figura 2.

Carta de plasticidad.



Nota: Chirinos Ñañez, E., Rodríguez Lafitte, E., & Muñoz Perez, S., (2021).

De la figura 2 se observa que las muestras de suelo obtenidas de las calicatas por su Límite líquido e índice de plasticidad y además su granulometría (suelo de grano fino) se concluye que es un suelo arcilloso de tipo CL, por lo tanto, el suelo natural a estudiar pertenece a suelos arcillosos de baja plasticidad.

Tabla 1

Propiedades físicas del suelo

Ensayo	Norma ASTM	Calicata N°					
		01	02	03	04	05	06
(%) Contenido de humedad	D-2216	22.03	22.07	14.24	16.76	22.04	21.67
(%) Límite Líquido	D-424	33.87	33.42	34.23	33.94	34.36	33.49
(%) Límite Plástico	D-4318	18.60	18.61	18.86	18.95	18.62	18.64
(%) Índice de Plasticidad	D-4318	15.27	14.81	15.37	14.98	15.73	14.85
Análisis Granulométrico	D-422	Fig. 1	Fig. 1	Fig. 1	Fig. 1	Fig. 1	Fig. 1
Clasificación SUCS	D-2487	CL	CL	CL	CL	CL	CL
Clasificación AASHTO		A-6	A-6	A-6	A-6	A-6	A-6
Tipo de suelo	Fig. 2	Suelo Arcilloso de tipo CL					
Densidad natural (gr/cm ³)	D-1556	1.90	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00

Nota: Elaboración propia.

3.2. Propiedades mecánicas del suelo natural a nivel de subrasante

Tabla 2

Propiedades mecánicas del suelo natural.

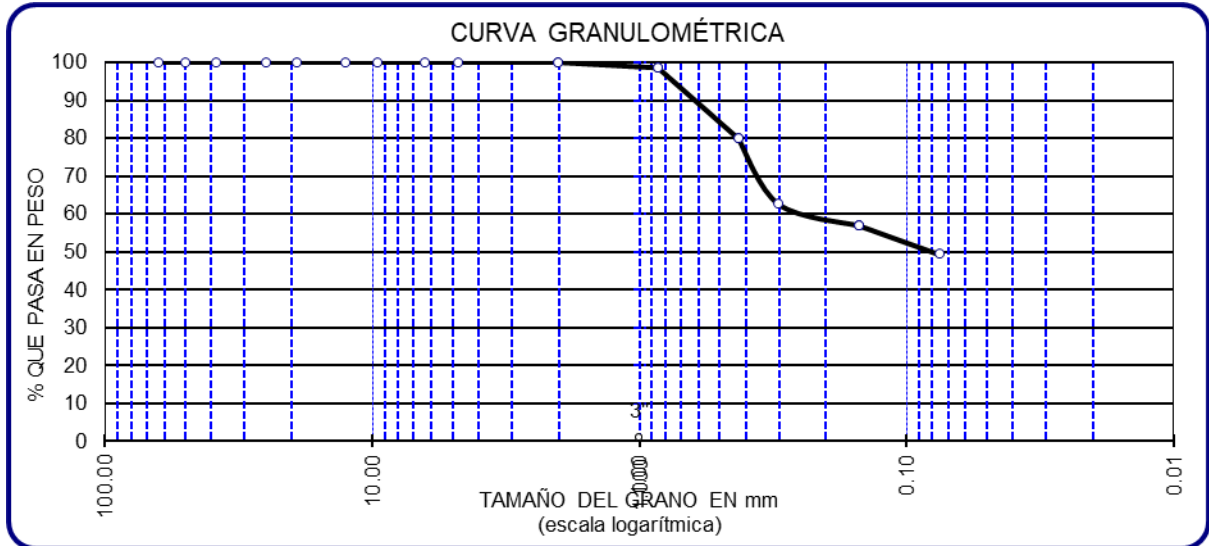
Ensayo	Norma ASTM	Calicata N°					
		01	02	03	04	05	06
Humedad óptima (%)	D-1557	21.57	21.94	14.56	20.17	21.90	21.17
Proctor (gr/cm ³)	D-1557	1.90	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00
CBR al 95%	D-1883	5.00	4.80	5.00	5.00	4.00	4.00

Nota: Elaboración propia.

3.3. Propiedades físicas - Ceniza de fondo

Figura 3.

Curva Granulométrica de la ceniza de fondo



3.4. Propiedades químicas - Ceniza de fondo

Tabla 4

Ceniza de fondo - Propiedades químicas

Nº	Parámetros Físicos - Químicos	Und	Resultados
1	Contenido de humedad	%	0.99
2	Trióxido de Aluminio Al_2O_3	%	12.34
3	Óxido de potasio K_2O	%	2.76
4	Óxido de calcio CaO	%	2.87
5	Óxido de magnesio MgO	%	0.38
6	Cloruros Cl	%	50.57
7	Sulfatos SO	%	50.80
8	Porcentaje de salinidad	%	0.10
9	PH	%	8.50
10	Temperatura de Horno	%	539 °C

Nota: Elaboración propia.

Figura 4

Temperatura del horno de la fábrica de ladrillera



Nota: Elaboración propia.

3.5. Parámetros e indicadores de la estabilización para una subrasante

Tabla 5

Requisitos de Subrasante Físico - Mecánicas

Característica	Valor
Tamaño máximo; mm	76
Límite líquido; %, máximo	40
Índice plástico; %, máximo	12
Valor de Soporte de California (CBR); %, mínimo	20
Expansión máxima; %	2
Grado de compactación; %	100+-2

Nota: CTM. Características de los materiales (2021).

3.6. Límite líquido

Tabla 6

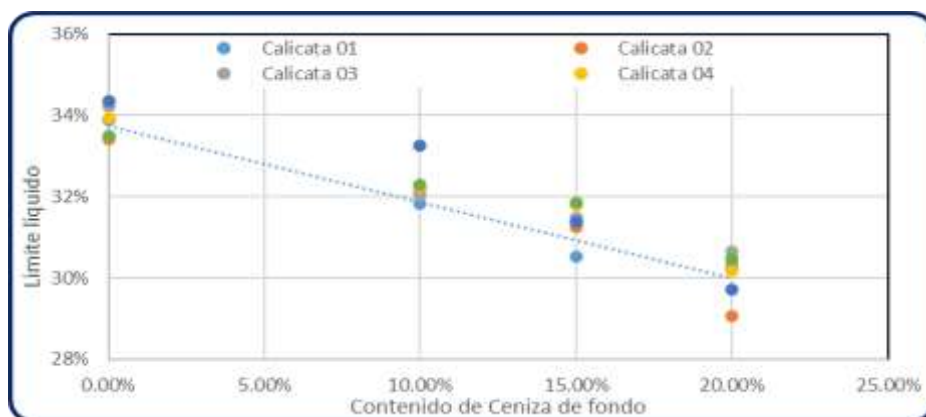
Comportamiento del Límite Líquido del suelo con Ceniza de fondo

Calicata N°	(%) Ceniza de fondo			
	0%	10%	15%	20%
1	33.87%	31.83%	30.52%	30.30%
2	33.42%	32.17%	31.26%	29.07%
3	34.23%	32.03%	31.50%	30.66%
4	33.94%	32.23%	31.79%	30.18%
5	34.36%	33.27%	31.39%	29.71%
6	33.49%	32.29%	31.84%	30.47%

Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Comportamiento del Límite Líquido del suelo estabilizado en porcentajes de 10, 15, 20% de Ceniza de fondo



Nota: Elaboración propia.

Se logra apreciar el comportamiento del Límite Líquido de un suelo estabilizado con Ceniza de fondo, en el cual disminuye en tendencia de tipo lineal en relación directa al porcentaje de ceniza de fondo reduciendo su valor, la reducción máxima es de la calicata 5 en un 4.65% con 20% de ceniza de fondo.

3.7. Límite plástico

Tabla 7

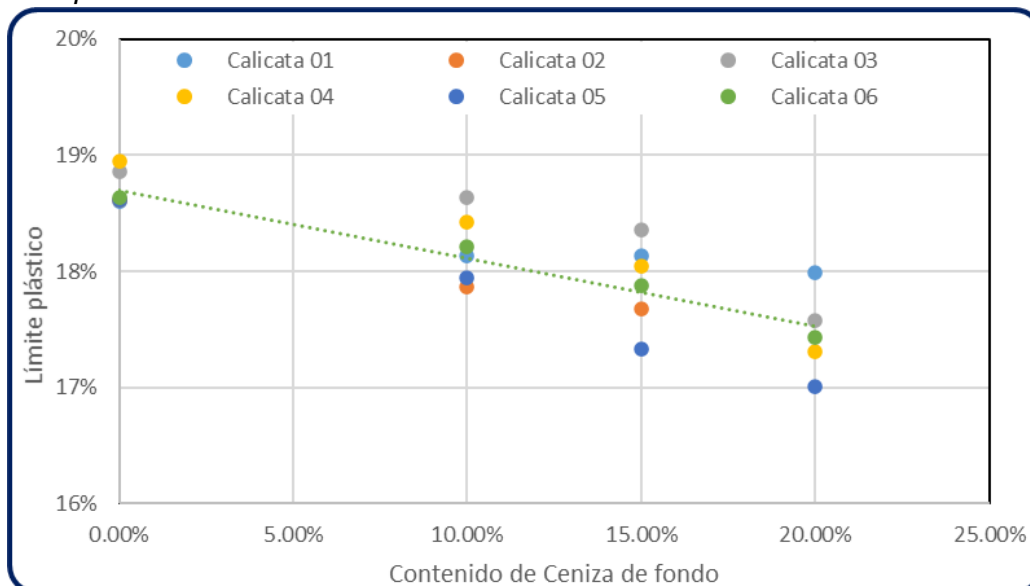
Comportamiento del límite plástico del suelo con Ceniza de fondo

Calicata N°	(%) Ceniza de fondo			
	S. Natural	10.00%	15.00%	20.00%
1	18.60%	18.14%	18.14%	17.99%
2	18.61%	17.87%	17.68%	15.65%
3	18.86%	18.64%	18.36%	17.58%
4	18.95%	18.43%	18.05%	17.31%
5	18.62%	17.95%	17.33%	17.01%
6	18.64%	18.21%	17.88%	17.43%

Nota: Elaboración propia.

Figura 6

Comportamiento del Límite Plástico del suelo estabilizado con Ceniza de fondo



Nota: Elaboración propia.

Podemos apreciar que el comportamiento del Límite plástico del suelo disminuye en tendencia del tipo lineal en relación directa al porcentaje de ceniza de fondo, en la calicata 2 en un 2.96% con 20% de Ceniza de Fondo.

Tabla 8

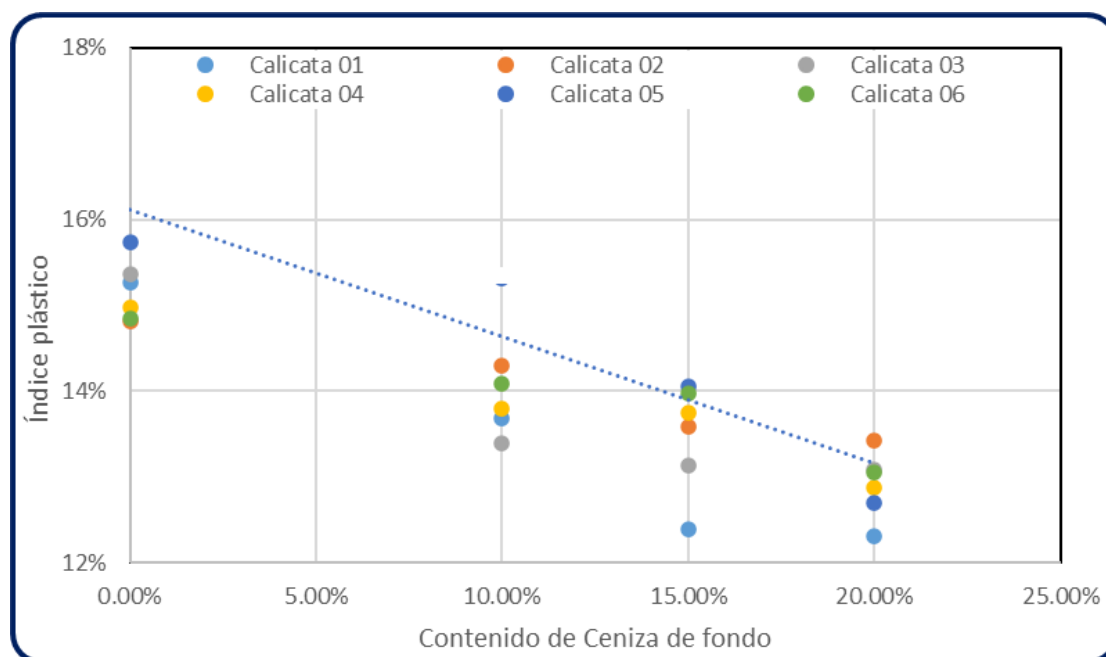
Comportamiento del Índice de Plasticidad en suelos estabilizado con Ceniza de Fondo

Calicata N°	Ceniza de fondo (%)			
	S. Natural	10.00%	15.00%	20.00%
1	15.27%	13.69%	12.39%	12.31%
2	14.81%	14.30%	13.58%	13.42%
3	15.37%	13.40%	13.14%	13.08%
4	14.98%	13.80%	13.74%	12.87%
5	15.73%	15.32%	14.06%	12.70%
6	14.85%	14.08%	13.97%	13.05%

Nota: Elaboración propia.

Figura 7

Comportamiento del Índice de Plasticidad en suelos estabilizado con Ceniza de fondo



Nota: Elaboración propia.

En la figura podemos apreciar que el comportamiento del Índice plástico del suelo se reduce en tendencia del tipo lineal en relación directa al porcentaje de ceniza de fondo, la reducción es mínima en la calicata 5 en un 3.03% con 20% de Ceniza de Fondo.

3.8. Propiedades mecánicas del suelo con Ceniza de fondo

Tabla 9

Comportamiento de la Densidad Seca y % Humedad óptimo en suelo estabilizado con Ceniza de fondo

Calicata N°	(%) Ceniza de fondo							
	S. Natural		10.00%		15.00%		20.00%	
01	1.801	16.00%	1.78	16.00%	1.785	15.50%	1.78	15.50%
			5				3	
02	1.812	15.78%	1.80	15.78%	1.802	15.76%	1.80	15.74%
			5				2	

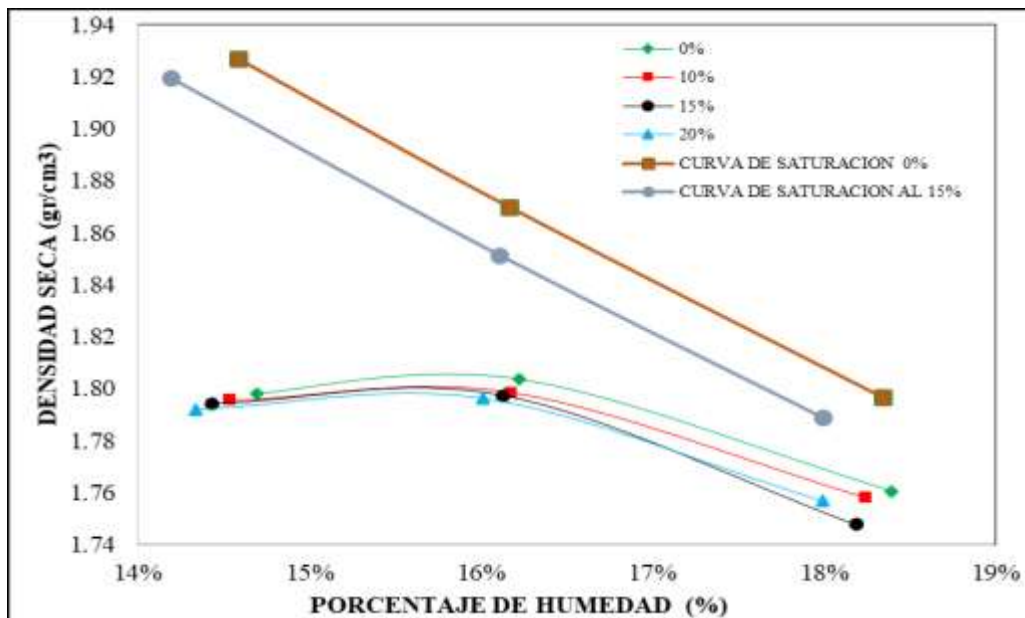
03	1.804	16.00%	1.80 3	16.00%	1.803	15.90%	1.80 2	15.80%
04	1.806	16.00%	1.80 5	15.90%	1.803	15.85%	1.80 0	15.80%
05	1.803	16.00%	1.80 2	16.00%	1.802	15.90%	1.80 2	15.70%
06	1.803	16.00%	1.80 0	16.00%	1.800	15.90%	1.79 9	15.80%

Nota: Elaboración propia.

En la **Figura 08** presenta: la curva de saturación y compactación, donde según la **Tabla 06**, la densidad disminuye a mayor adición de ceniza de fondo, esto se debe a que la Ceniza de Fondo tiene menor Gravedad Especifica (G) a la de suelo para alcanzar su máxima compactación la humedad óptima disminuye al adicionar Ceniza de Fondo para su estabilización.

Figura 8

Comportamiento de la Densidad en suelos estabilizados con Ceniza de fondo



Nota: Elaboración propia.

3.9. Expansión en estado saturado.

Tabla 10

Comportamiento de la expansión en suelos estabilizados con Ceniza de Fondo

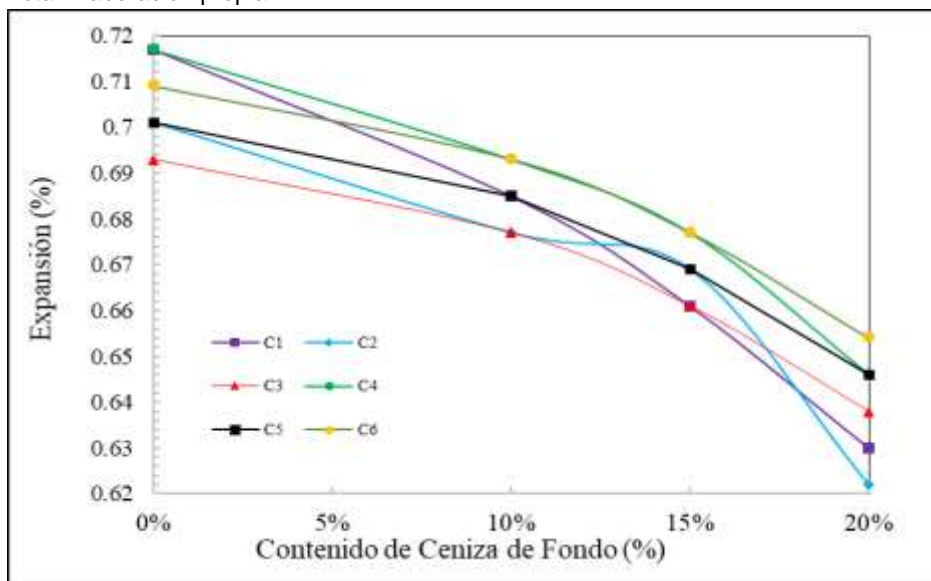
Calicata N°	Ceniza de Fondo (%)			
	S. Natural	10.00%	15.00%	20.00%
1	0.717	0.685	0.661	0.630
2	0.701	0.677	0.669	0.622
3	0.693	0.677	0.661	0.638
4	0.717	0.693	0.677	0.646
5	0.701	0.685	0.669	0.646
6	0.709	0.693	0.677	0.654

Nota: Elaboración propia.

Figura 9

Comportamiento de la expansión con adición de Ceniza de Fondo

Nota: Elaboración propia.



En la figura podemos apreciar que el comportamiento de la expansión presenta cambios significativos en su valor con la estabilización con Ceniza de Fondo, con la adición de 20% de Ceniza de Fondo la expansión se reduce de manera significativa.

3.10. CBR (%) al 95% de su Máxima densidad seca

Tabla 11

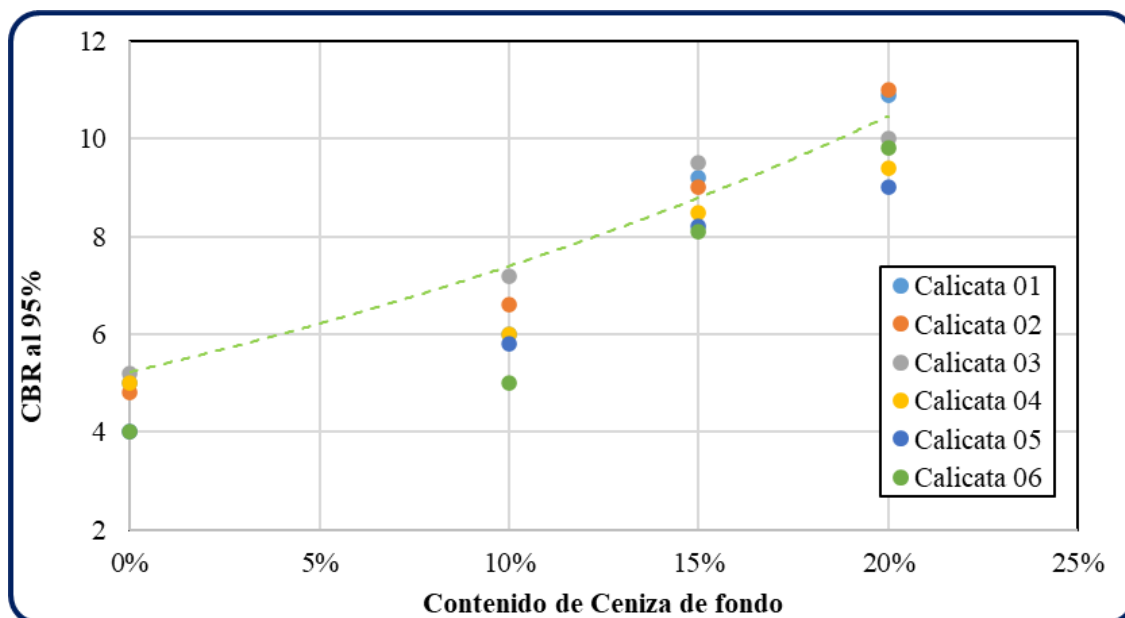
Comportamiento del CBR al 95% de su MDS en suelos estabilizados con Ceniza de fondo

Calicata N°	Ceniza de fondo (95% MDS)			
	S. Natural	10.00%	15.00%	20.00%
01	5.00	6.00	9.00	11.00
02	4.80	6.50	9.00	11.00
03	5.00	7.00	10.00	10.50
04	5.00	6.00	8.50	9.50
05	4.00	5.80	8.00	9.00
06	4.00	5.50	8.00	9.80
Promedio	4.63	6.13	8.75	10.13

Nota: Elaboración propia.

Figura 10

Comportamiento del CBR en suelos estabilizados con Ceniza de fondo



Nota: Elaboración propia.

3.11. Categoría de Subrasante según su CBR

Tabla 12

Parámetros de CBR para una subrasante

Categoría de Subrasante	CBR
So: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Nota: Categorías de subrasante MTC, (2014).

En relación al CBR podemos apreciar en la **Figura 10**, el porcentaje incrementa a medida de la adición de Ceniza de Fondo, incrementando su valor en más del 100% para contenidos del 20% de ceniza de fondo; Según los parámetros de la **Tabla 11**, al añadir 20% de Ceniza de Fondo el CBR se encuentra en la categoría Buena, en tal sentido, todas las mezclas cumplen con lo especificado.

3.12. Diseño de pavimento método Manual de Carreteras.

Variables de diseño

- Tipo de tráfico de TP9: Esal entre 7,500,001 a 10,000,000.
- 8 000 000 de ejes equivalente.
- Suelo de subrasante arcilloso:
 - o CBR = 4.67% (S/A de Ceniza de fondo)
 - o CBR = 6.10% (10.00% de Ceniza de fondo)
 - o CBR = 8.75% (15.00% de Ceniza de fondo)
 - o CBR = 10.02% (20.00% de Ceniza de fondo)
- Promedio de días que llueve cada año = 107
- Calidad del drenaje = Regular
- Ancho de carriel = 3.50 m.
- Periodo de Diseño: 20 años.

Parámetros de diseño

- Desviación Estándar Normal (Z_r), Confiabilidad (R) y (En Tipos de tráfico de TP9 según cuadro 14.5 de Manual de carreteras)
 - $Z_r = -1.282$
 - $R = 90\%$
- Índice de Serviciabilidad Final (P_t), Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i), I y Diferencial Servicial (ΔPSI)
 - $P_t = 2.50$
 - $P_i = 4.30$
 - $\Delta PSI = 1.80$
- Módulo de Resistencia de Concreto.
 - Para $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (recomendación para tipo de tráfico TP9)
- Coeficiente de drenaje
 - $D_c = 1.00$ (Regular de 5% a 25% del tiempo expuesto a humedad)
- Transferencia de carga
 - $J = 2.80$ (Concreto Hidráulico - Si con pasadores)
- Desviación Estándar
 - $S_o = 0.35$ (Recomendación de manual)
- Modulo Elástico del Concreto
 - $E = 57,000 (f'c)^{0.5}$ donde $1 \text{ kg/cm}^2 = 14.2233 \text{ PSI}$
 - Entonces: $300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4,266.99 \text{ PSI}$
 - $E = 57,000 (4,266.99)^{0.5}$
 - $E = 3,723,365.48 \text{ psi}$
- Módulo de rotura del concreto
 - $Mr = a(f'c)^{0.5}$
 - $Mr = 1.99(300 \text{ kg/cm}^2)^{0.5}$
 - $Mr = 34 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow Mr = 483.59 \text{ psi}$
- Módulo de reacción de la Sub rasante (K)
 - Los valores K se definen en la siguiente tabla los cuales se obtuvieron mediante la Figura 14.1 (correlación CBR y Modulo de Reacción de la Subrasante) del manual de carreteras.

Tabla 13

Valor Comportamiento del CBR al 95% de MDS en suelos estabilizados con Ceniza de fondo

CBR	% Ceniza de Fondo	K (kg/cm2)	K PSI
4.67 %	S/A.	3.80	54.05
6.10%	10%	4.40	62.58
8.75%	15%	5.25	74.67
10.02%	20%	5.70	81.07

Nota: Elaboración propia.

Ecuación AASHTO – 93

Ecuación 1

$$\log(W_{8.2}) - Z_r * S_0 + 0.06$$

Ecuación 2

$$7.35 * \log(D + 1) + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1 + \left(\frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}\right)} \right] + (4.22 - 0.32 * P_f) \dots$$

$$\dots * \log \left[\frac{Mr * Cd * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J * \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right]$$

- **Nota.** Las dos ecuaciones se deben de igual para el hallar el espesor del pavimento rígido.

Tabla 14

Espesor del pavimento en función al CBR, estabilizada la subrasante con Ceniza de Fondo

Calicata N°	(%) Ceniza de fondo			
	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%
CBR de las Subrasante	4.67%	6.10%	8.75%	10.02%
Espesor de la losa.	21.93 cm	21.81cm	21.64 cm	21.58 cm

Nota: Elaboración propia.

Finalmente, del análisis del diseño del pavimento rígido mediante el Manual de Carreteras se aprecia una reducción de 21.93 cm a 21.58 cm de espesor de la losa para el suelo estabilizado en la subrasante con adición del 20% de ceniza de fondo.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis planteada donde la estabilización de suelos arcillosos con ceniza de fondo tiene efecto positivo, mejora e incrementa el valor CBR en las calicatas de estudio, sin embargo se tiene una ligera disminución de las densidades a medida que se adiciona mayor cantidad el agente estabilizante, esto se debe a que la ceniza de fondo tiene una gravedad específica menor que el suelo natural, por otro lado de las características físicas de la estabilización de suelos; como el Limite liquido tiene una ligera disminución de tendencia tipo lineal en relación directa al añadir ceniza de fondo, el Limite plástico presenta una disminución mínima de tendencia tipo lineal y el Índice de plasticidad disminuye y los resultados están dentro de los parámetros requeridos para una subrasante.

Los resultados obtenidos tienen relación con Rezabala & Ortiz (2023) aplicando cal y cemento en una subrasante de suelo arcilloso de tipo CL esta se estabiliza, el CBR con cemento al 3% es de 7.8% con Cal es de 7.15% ambos resultados son mayores al 6% por lo tanto demostró que ambos aditivos cementantes aumentan la resistencia del suelo de tipo CL, al mejorar las características mecánicas incrementando el CBR en 5 veces más de su valor original, estos autores concluyen de que al estabilizar el suelo de tipo CL con cal y cemento mejoran las propiedades mecánicas del suelo incrementando su valor. Ello es coherente con lo que en este estudio se ha realizado.

Según los resultados obtenidos tienen relación con lo que sostiene Huancoillo (2017) aplicando la estabilización con cal y ceniza volante en suelos arcillosos, el CBR se incrementa significativamente, por otro lado confirma lo siguiente la Máxima Densidad Seca (MDS) disminuye eso debido a que la Ceniza Volante y la Cal tiene baja densidad de, y llega a la conclusión que se cuenta con viabilidad técnica y económica en la construcción de pavimento empleando la ceniza volante y cal como material estabilizador. Ello es

coherente con lo que en este estudio se ha realizado con respecto a los resultados obtenidos en la Máxima Densidad Seca.

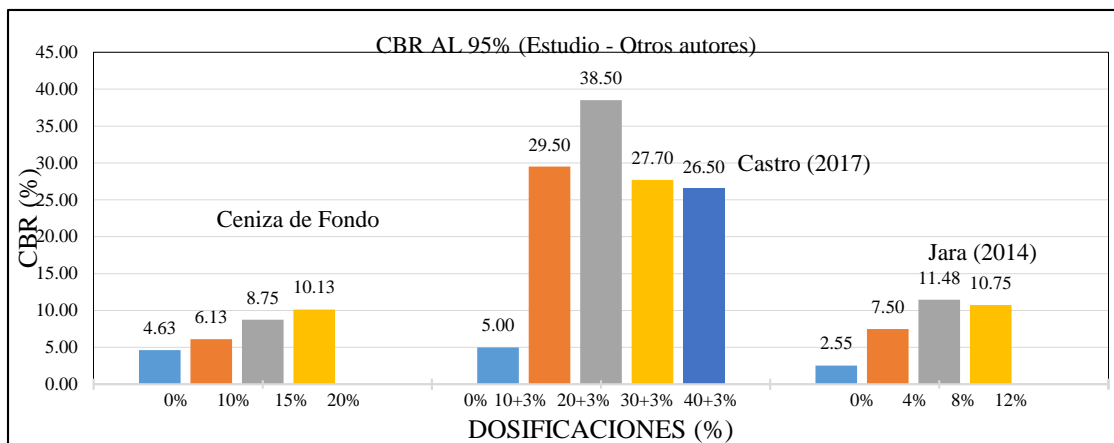
De los resultados obtenidos tienen relación con lo que sostiene Castro (2017) aplicando la estabilización con ceniza cascara de arroz en suelos arcillosos de tipo CL para su utilización en suelos de baja capacidad de soporte a nivel de subrasantes, las características de compactación mostraron una disminución en la densidad seca máxima y aumenta el porcentaje de humedad óptimo debido al aumento de la ceniza cascara de arroz, el carácter expansivo en suelos arcillosos se reduce al añadir ceniza de cascara de arroz a medida que este aumenta llegando hasta que el valor de la expansión es 0% en la expansión, este autor concluye que con los resultados obtenidos dando cambios favorables en la estabilización al añadir ceniza de cascara de arroz los cuales son favorables para usar en una subrasante, el valor del CBR se incrementa al 100% de la máxima densidad seca de 5% a 38.5%, es decir se incrementa 6 veces más al añadir 20% de la Ceniza de Cascara de Arroz. En el cual concuerda los resultados obtenidos en la disminución de la expansión en un suelo arcilloso.

De los resultados hallados se observó que los Límites de Atterberg disminuyen siguiendo una tendencia del tipo lineal en relación directa del porcentaje de Ceniza de fondo, estos valores son congruentes con los resultados de Jittin et al. (2020), Ma et al. (2020) y Jafer et al. (2020); con respecto a la densidad, los resultados muestran que no se presenta cambios significativos en su valor con la estabilización de 10, 15% ceniza pero para contenidos del 20% el valor disminuye mínimamente; estos resultados discrepan de los resultados hallados por de Jittin et al. (2020), Ma et al. (2020) y Jafer et al. (2020) pues demostraron que se incrementa el contenido óptimo de humedad y disminuye la densidad del suelo al añadir ceniza de cáscara de arroz; esta discrepancia se debería a la procedencia de la Ceniza de Cascara de arroz. En relación al CBR los resultados obtenidos muestran que el CBR del suelo se incrementa para todas las adiciones de ceniza de fondo, incrementando de 8.17 a 19.17% para contenidos del 20% representando un incremento del más del 100%; dichos resultados concuerdan a los obtenidos por: Anjani et al. (2017) al igual que Jittin et al. (2020), determinaron que el 7.5% de ceniza incrementa hasta un 134% el valor de CBR respecto al suelo sin estabilizar; En el estudio de Chijioke & Donald (2019), el CBR en suelos naturales se incrementó de 2 a 13% y al añadir cáscara de arroz; Sarapu (2017), determinó que los porcentajes 6 y 8% del mismo material mejoró el suelo natural de 5 a 8.5% de CBR.

4.1. Análisis comparativo de resultados con Cal

Figura 11

Comportamiento del CBR en comparación a la estabilización con Cal

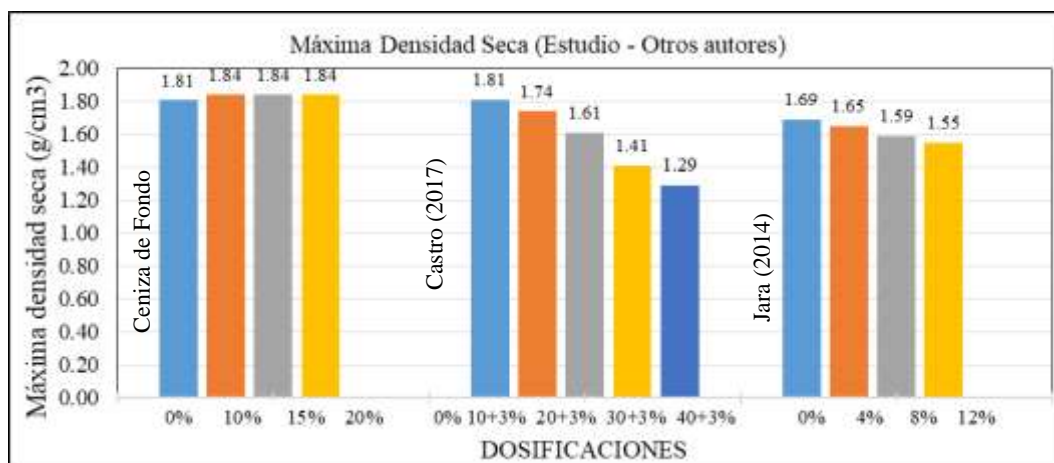


Nota: Elaboración propia

De la figura 11 se observa lo siguiente; Castro (2017) concluye que valor del CBR se incrementa de CBR al 100% de la máxima densidad seca de 5% hasta 38.5%, incrementándose 6 veces más al añadir 20% de Ceniza de Cascara de Arroz, Jara (2014) concluye que el valor del CBR incrementa de 2.55% a 11.48% con la adición de 8% de Cal, según estos autores tiene coherencia con la presente investigación con la adición de estabilizantes ya sea Cal, ceniza de cascara de arroz y ceniza de fondo mejoran las características físicas y mecánicas en un suelo arcillo.

Figura 12

Comportamiento de la Máxima densidad seca en comparación con Cal



Nota: Elaboración propia.

De la figura 12 se observa lo siguiente; Castro (2017) los valores de la máxima densidad seca presenta una disminución al incrementar la ceniza de cascara de arroz y cal, Jara (2014) valores que obtiene de la máxima densidad seca del mismo como que el anterior autor presenta una disminución a mitad que aumenta la adición de la cal, en esta investigación se tiene los valores de la máxima densidad seca que se mantiene con respecto al suelo natural, por ende se tiene una coherencia lógica por las propiedades de los agentes estabilizantes por su bajo gravedad o peso específico de la cal, ceniza de cascara y ceniza de fondo.

5. CONCLUSIONES

Del desarrollo cuasiexperimental en el presente artículo, la propiedad física del suelo natural de la muestras extraída a nivel de la subrasante clasifica en un suelos arcillosos tipo CL; por otra parte, la Ceniza de fondo en su composición química generalmente son estables, con respecto a su composición química de un suelo arcilloso, la característica química de la ceniza de fondo guardan similitud con la ceniza volante, en cuanto a su granulometría compuesta en su mayoría son partículas finas, además, se observa que este material no presenta plasticidad (NP), se concluye que la estabilización con Ceniza de Fondo en un suelo arcilloso tiene un efecto positivo debido a que mejoran las características físico – mecánicas. Además, con la utilización de Ceniza de Fondo para la estabilización en los suelos arcillosos de la ciudad de Juliaca se evitará la depredación de más canteras que son depósitos y botaderos de este material lo cual ayudará a reducir el impacto ambiental que se presenta actualmente perjudicando a la población que vive al contorno de las canteras.

Se determino el CBR al 95% de la Máxima densidad seca al añadir en 10, 15 y 20% resulta 6.13, 8.75 y 10.13% respectivamente se clasifica en la categoría de subrasante buena según parámetros de MTC-2014, con respecto a limite líquido, índice de plasticidad y expansión no se cuenta con parámetros según la normativa peruana, sin embargo se cuenta con la norma mexicana que contiene parámetros se contrasta lo siguiente; límite liquido al añadir en 10, 15 y 20% se obtuvo 32.30, 31.38 y 30.07% respectivamente es aceptable ya que es menor al 40%, índice de plasticidad al añadir en 10, 15 y 20% se obtuvo 14.10, 13.48 y 12.91% respectivamente se observa que no está dentro del

parámetro de menor a 12%, la Expansión con la adición de 10, 15 y 20% se obtuvo 0.685, 0.669 y 0.639% respectivamente es aceptable está dentro del parámetro menor a 2%.

Por otro lado, respecto a la densidad del suelo, se llega a la conclusión que suelo arcilloso de tipo CL no presenta cambios significativos en su valor al añadir ceniza de fondo de lo contrario hay una disminución mínima esto debido a que la ceniza de fondo presenta características y propiedades de bajo peso y/o baja gravedad específica por ende una baja densidad con respecto al suelo natural.

En relación al CBR podemos concluir que el porcentaje de este parámetro se incrementa para todos los contenidos de Ceniza de fondo para la estabilización de un suelo cohesivos de tipo CL, incrementando su valor en más del 100% para contenidos del 10, 15 y 20% de ceniza de fondo; cabe recordar que el (%) mínimo de CBR requerido para una subrasante según las normativas de vías es del 6%, por lo tanto en el presente estudio al añadir 20% de Ceniza de fondo se clasifica como Subrasante Buena; en tal sentido, todas las mezclas o adiciones en diferentes proporciones cumplen con lo especificado según parámetros de una subrasante.

Aplicando la ceniza de fondo en suelos arcillosos estos mejoran las características físicas - mecánicas incrementando su valor de su capacidad para uso en una subrasante; la muestra natural tiene un CBR promedio de 4.67%, al añadir 10 % de Ceniza de Fondo se tiene un CBR promedio de 6.10%, al añadir 15% de Ceniza de Fondo se tiene un CBR promedio de 8.75% y al añadir 20% de Ceniza de Fondo el CBR promedio es 10.02%, siendo este último el valor más alto obtenido en la presente investigación, por lo cual la adición de Ceniza de Fondo mejora sus propiedades físico-mecánicas e incrementa su valor de manera positiva y es recomendable para el uso a nivel de la subrasante.

Finalmente, podemos afirmar que la estabilización de un suelo arcilloso de tipo CL con Ceniza de Fondo es recomendable, con el 20% de Ceniza de fondo mejora de 4.67 a 10.02% de CBR, con los resultados en el presente estudio, se concluye que la ceniza de fondo funciona en suelos arcillosos, disminuyendo la plasticidad e incrementando el CBR en 2 veces más del valor original, esto se debe a que la ceniza de fondo contiene una composición que está conformada en mayor porcentaje por dióxido de silicio (SiO_2) y Trióxido de Aluminio (Al_2O_3) los cuales son elementos estabilizantes, dichos elementos responden ante la presencia de agua y reducen la expansión de los suelos cohesivos.

Según los resultados hallados del CBR al añadir 10, 15 y 20% de ceniza de fondo se utilizó el valor del CBR para el diseño del pavimento con los procedimientos AASHTO – MTC 2014 con la adición del 20% ceniza de fondo al estabilizar el suelo se determinó el espesor del pavimento de 21.58 cm.

6. REFERENCIAS

- Abbasi, N., & Mahdieh, M. (2018). Improvement of geotechnical properties of silty sand soils using natural pozzolan and lime. *International Journal of Geo-Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0072-4>
- Anjani, Y., Kumar, R., & Kishor, S. S. (2017). Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *Materials today: Proceedings*, 10, 254- 261.
- Amakye, S. Y., & Abbey, S. J. (2021). Understanding the performance of expansive subgrade materials treated with non-traditional stabilisers: A review. En *Cleaner Engineering and Technology* (Vol. 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100159>
- Archibong, G., Sunday, E., Akudike, J., Okeke, O., & Amadi, C. (2020). A REVIEW OF THE PRINCIPLES AND METHODS OF SOIL STABILIZATION. <https://www.researchgate.net/publication/342448451>
- ASTM D 4429. (1883). Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place. American Society for Testing and Materials, 1-7. <https://doi.org/10.1520/D4429-09A>
- ASTM D1557. (2015). Métodos de prueba estándar para las características de compactación de suelo en laboratorio utilizando esfuerzo modificado. *Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales*, 1-13.
- Calderero, M. J., & Panchana, R. (2022). Uso de la Ceniza de Fondo Como Reemplazo Porcentual del Cemento Portland en la Elaboración de Mortero. *Polo del Conocimiento*, 1-15. <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Chang, E., Villalta, J., Fernandez, C., & Duran, G. (2020). Improvement of physical, mechanical and strength behavior of cohesive soils with natural pozzolana and brick dust. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 758(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/758/1/012038>

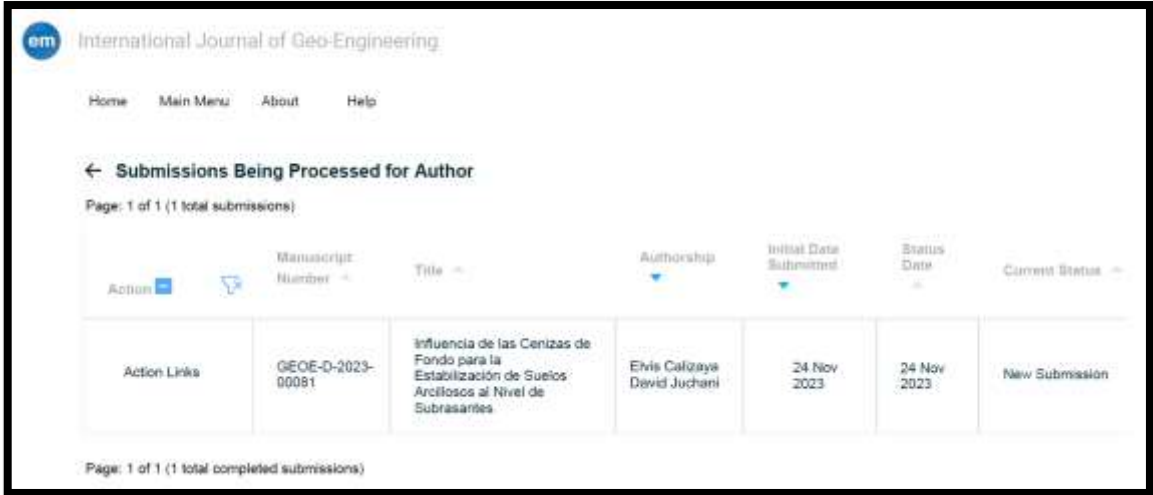
- Chirinos Ñañez, E., Rodríguez Lafitte, E., & Muñoz Pérez, S. (2021). MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA MEJORAR EL CBR CON FINES DE PAVIMENTACIÓN: UNA REVISIÓN LITERARIA. *Iombiana de la Ciencia del Suelo*, 77-92. [https://doi.org/10.47864/SE\(51\) 2021p77-92_129](https://doi.org/10.47864/SE(51) 2021p77-92_129)
- Chijioke, C., & Donald, C. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 22(3), 423-440. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.013>
- Das, B. M., & González, S. R. C. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Jara, R. (2014). Efecto de la Cal como Estabilizante de una Subrasante de Suelos Arcillosos. Universidad nacional de Cajamarca.
- Goñas, O., & Saldaña, J. (2020). Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(1), 30. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1977). *Mecánica de suelos; Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I*.
- Huancoillo, Y. (2017). MEJORAMIENTO DE SUELO ARCILLOSO CON CENIZA VOLANTE Y CAL PARA SU USO COMO PAVIMENTO A NIVEL DE AFIRMADO EN LACARRETERA DESVIO HUANCANÉ –CHUPA –PUNO.
- Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(2), 255-234. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.366>
- Jafer, H., Majeed, Z., & Dulaimi, A. (2020). Incorporación de dos materiales de desecho para su uso en la estabilización de suelos de grano fino. *Revista de ingeniería civil*, 6(6), 1114-1123. doi:<https://doi.org/10.28991 /cej2020-03091533>

- Jalal, F. E., Xu, Y., Jamhiri, B., Memon, S. A., & Graziani, A. (2020). On the Recent Trends in Expansive Soil Stabilization Using Calcium-Based Stabilizer Materials (CSMs): A Comprehensive Review. En *Advances in Materials Science and Engineering* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/1510969>
- James, J. (2019). Strength benefit of sawdust/wood ash amendment in cement stabilization of an expansive soil. *Revista Facultad de Ingenieria*, 28(50), 44-61. [HTTPS://DOI.ORG/10.19053/01211129.V28.N50.2019.8790](https://doi.org/10.19053/01211129.V28.N50.2019.8790)
- Jittin, V., Bahurudeen, A., & Ajinkya, D. (2020). Utilisation of rice husk ash for cleaner production of different construction products. *Journal of Cleaner Production*, 263(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121578>
- Khasawneh, M. A. (2020). Permanent deformation behavior of cohesive subgrade soils classified as A-4a and A-6a.
- Ma, J., Su, Y., Liu, Y., & Tao, X. (2020). Strength and Microfabric of Expansive Soil Improved with Rice Husk Ash and Lime. *Advances in Civil Engineering*. doi:10.1155/2020/9646205
- MTC E 133. (2000). CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU). MTC E 133, 1-7. <https://docplayer.es/8340725-Cbr-en-el-terreno-cbr-in-situ-mtc-e-133-2000.html>
- Nabil, M., Mustapha, A., & Rios, S. (2020). Impact of wetting-drying cycles on the mechanical properties of lime-stabilized soils.
- NTP 339-141. (2014). Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.
- NTP 339.145. (1999). Método de ensayo de CBR, de suelos compactados en el laboratorio. Norma Técnica Peruana, 1-18.
- Okost, M., Shapovalov, V., Morozov, A., Vasilchenko, A., Kochur, A., & Yavna, V. (2023). Geotechnical properties of cohesive soils used in the construction of subgrade for the development of the railways in the Azov-Black Sea region. *International Journal of Transportation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2023.05.003>

- Ospina García, M. Á., Chaves Pabón, S. B., & Jiménez Sicachá, L. M. (2020). Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(1), 185-196. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n1.2020.11692>
- Purificación, L. O., Bardales, M., Humberto, N., Chero, B., & César, J. (2021). SUELOS ECUATORIALES 51 (1 y 2):68-76 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA INCREMENTO DEL VALOR DE SOPORTE DEL SUELO ADICIONANDO ECO ESTABILIZANTE A PARTIR DE CENIZAS CASCARILLA DE CAFÉ ARÁBICA. [https://doi.org/10.47864/SE\(51\)2021p68-76_127](https://doi.org/10.47864/SE(51)2021p68-76_127)
- Saquib, M., & Showkat, R. (2018). IMPROVEMENT OF COHESIVE SOILS BY USING STONE COLUMNS. En *International Journal of Technical Research and Applications* (Vol. 6, Número 3). WWW.IJTRA.COM
- Sarapu, D. (2017). Potentials of rice husk ash for soil stabilization. *Journal of Environmental Research and Development*, 5(3).
- Tiwari, N., & Satyam, N. (2022). An experimental study on strength improvement of expansive subgrades by polypropylene fibers and geogrid reinforcement. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10773-0>

ANEXOS

ANEXOS A. Evidencia de sumisión del artículo de una revista de prestigio



The screenshot shows the author submission interface for the International Journal of Geo-Engineering. The page title is "Submissions Being Processed for Author" and it indicates "Page: 1 of 1 (1 total submissions)". A table lists the submission details:

Action	Manuscript Number	Title	Authorship	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links	GECE-D-2023-00081	Influencia de las Cenizas de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos al Nivel de Subrasantes	Elvis Calzaya David Juchani	24 Nov 2023	24 Nov 2023	New Submission

Page: 1 of 1 (1 total completed submissions)

ANEXOS B. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo.

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

RESOLUCIÓN N° 0484-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 21 de junio de 2022

VISTO:

El expediente de **Elvis Alexander Calizaya Sacari**, identificado(a) con Código Universitario N° 201612302 y **David Juchani Chura**, identificado(a) con Código Universitario N° 201421330, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Elvis Alexander Calizaya Sacari** y **David Juchani Chura**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza de carbón para uso de nivel subrasante en la Av. Juliaca, Ciudad de Juliaca, Puno 2021" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 21 de junio de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza de carbón para uso de nivel subrasante en la Av. Juliaca, Ciudad de Juliaca, Puno 2021**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Edwin Parillo Escarsena** y **Ing. Moises Araca Chile**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas
Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Santiago Ramírez López
Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

ANEXOS C. Copia de la resolución del Comité Dictaminador de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0443-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 08 de agosto de 2023

VISTO:

El expediente de **Elvis Alexander Calizaya Sacari**, identificado(a) con código universitario N° 201612302 y **David Juchani Chura**, identificado(a) con código universitario N° 201421330, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que **Elvis Alexander Calizaya Sacari** y **David Juchani Chura**, han concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicitan la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 08 de agosto de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada “Influencia de la Ceniza de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasantes”, presentado por **Elvis Alexander Calizaya Sacari** y **David Juchani Chura**, otorgándoles un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Mg. Edwin Parillo Escarsena.

Dictaminador 2: Ing. Moises Araca Chile

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (02)
-Archivo

ANEXOS D. Copia de la resolución Expedito para la sustentación la tesis en formato artículo titulada



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0938-2023/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 12 de diciembre de 2023

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Elvis Alexander Calizaya Sacari** identificado(a) con código universitario N° 201612302 y **David Juchani Chura** identificado(a) con código universitario N° 201421330, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Influencia de la Ceniza de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasantes", presentado por los (las) bachilleres **Elvis Alexander Calizaya Sacari** y **David Juchani Chura**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 12 de diciembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Elvis Alexander Calizaya Sacari** y **David Juchani Chura**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Influencia de la Ceniza de Fondo para la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasantes", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 28 de diciembre de 2023, a las 14:00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing Herson Duberly Pari Cusi
Secretario: Mg. Edwin Parillo Escarsena
Asesor: Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona
Vocal: Ing. Moises Araca Chile

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

(MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)

TESIS	: INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTAS	: BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI		
	: BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACIÓN	: AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	: C-1	ESTRATO	: E5
PROFUNDIDAD	: 1.50m	N.F	: NO PRESENTA
		ESTADO DE MUESTRA	: NATURAL
		FECHA	: 22 DE ABRIL DEL 2023

DIÁMETRO DEL MOLDE	4"		6"	VOLUMEN DEL MOLDE (A)	919	cm3	NÚMERO DE CAPAS	5
	A	B						
MÉTODO				PESO DEL MOLDE	3889		NÚMERO DE GOLPES	25

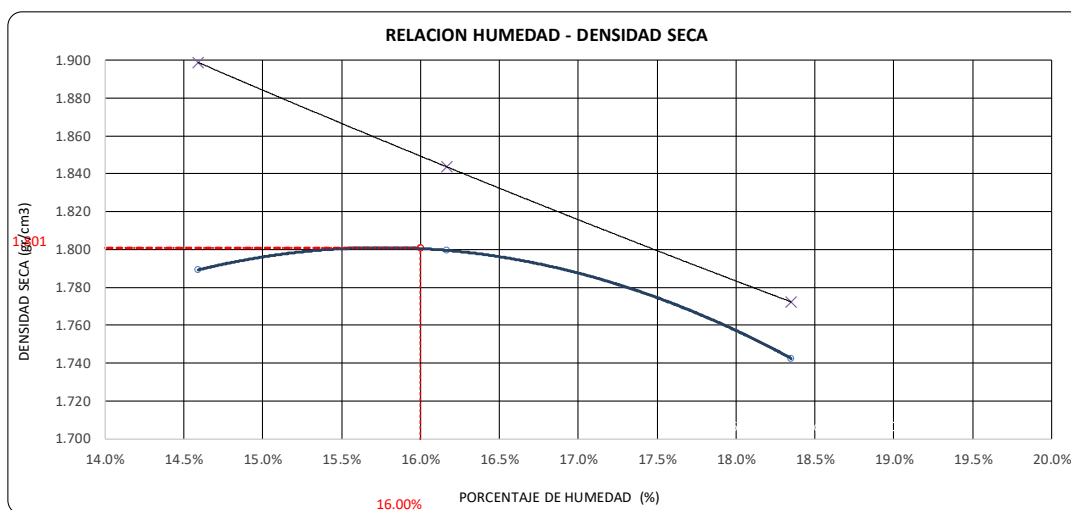
P. SUELO HUMEDO + P. MOLDE	gr.	5773	5810	5784	
P. DEL MOLDE	gr.	3889	3889	3889	
P. SUELO HUMEDO	gr/cm3.	1884	1921	1895	
DENSIDAD DE SUELO HUMEDO	gr/cm3.	2.050	2.090	2.062	

	No	16			18		
		T-17	T-18	T-13	T-61	T-60	T-20
PESO SUELO HUMEDO + P. TARA	gr.	89.65	65.43	85.31	70.80	82.00	74.13
PESO SUELO SECO + P. TARA	gr.	81.00	59.84	76.24	64.15	72.42	66.30
PESO DE TARA	gr.	22.25	21.17	22.32	21.29	21.93	22.13
PESO DEL AGUA	gr.	8.65	5.59	9.07	6.65	9.58	7.83
PESO DE SUELO SECO	gr.	58.75	38.67	53.92	42.86	50.49	44.17
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	14.72%	14.46%	16.82%	15.52%	18.97%	17.73%
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	14.59%		16.17%		18.35%	
DENSIDAD DE SUELO SECO	%	1.789		1.800		1.742	

GRADO DE SATURACIÓN

RESULTADOS

		1.899	1.844	1.772	
MAXIMA DENSIDAD SECA		1.801	gr/cm3	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	16.00%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

(MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)

TESIS	: INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTAS	: BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI		
	: BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACIÓN	: AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	: C-1	ESTRATO	: E5
PROFUNDIDAD	: 1.50m	N.F	: NO PRESENTA
		ESTADO DE MUESTRA	: 10% DE CENIZA
		FECHA	: 22 DE ABRIL DEL 2023

DIÁMETRO DEL MOLDE	4"		6"	VOLUMEN DEL MOLDE (A)	919 cm ³	NÚMERO DE CAPAS	5
	A	B					
MÉTODO				PESO DEL MOLDE	3889	NÚMERO DE GOLPES	25

P. SUELO HUMEDO + P. MOLDE	gr.	5760	5794	5788	
P. DEL MOLDE	gr.	3889	3889	3889	
P. SUELO HUMEDO	gr/cm ³ .	1871	1905	1899	
DENSIDAD DE SUELO HUMEDO	gr/cm ³ .	2.036	2.073	2.067	

	No	16			18		
		T-10	T-11	T-18	T-60	T-04	T-06
PESO SUELO HUMEDO + P. TARA	gr.	81.76	87.65	87.89	84.43	85.65	89.43
PESO SUELO SECO + P. TARA	gr.	74.00	79.42	78.90	75.64	75.94	79.20
PESO DE TARA	gr.	22.20	21.19	22.21	22.20	22.20	22.19
PESO DEL AGUA	gr.	7.76	8.23	8.99	8.79	9.71	10.23
PESO DE SUELO SECO	gr.	51.80	58.23	56.69	53.44	53.74	57.01
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	14.98%	14.13%	15.86%	16.45%	18.07%	17.94%
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	14.56%		16.15%		18.01%	
DENSIDAD DE SUELO SECO	%	1.777		1.785		1.751	

GRADO DE SATURACIÓN

1.900

1.844

1.783

RESULTADOS

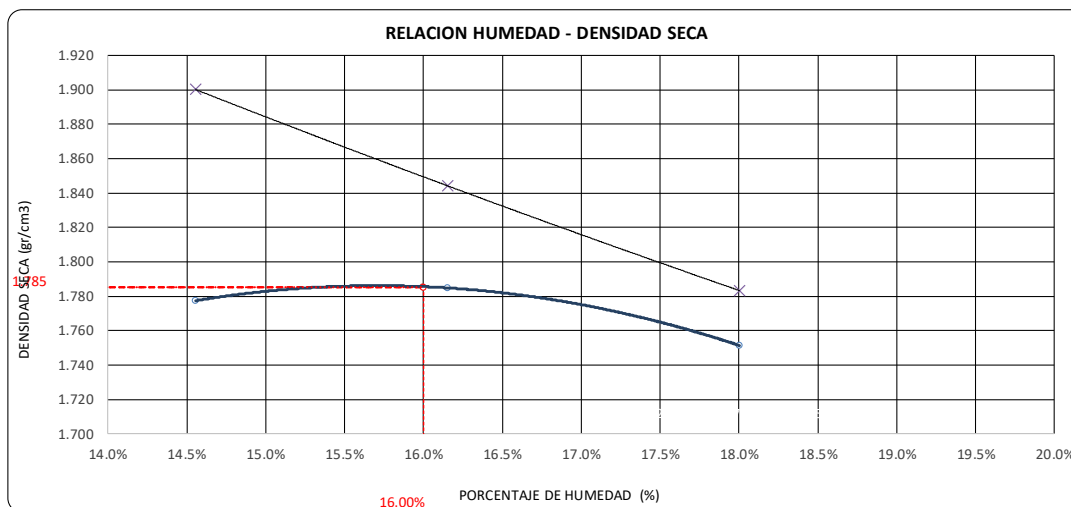
MAXIMA DENSIDAD SECA

1.785

gr/cm³

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

16.00%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

(MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)

TESIS	: INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES				
TESISTAS	: BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI				
	: BACH. DAVID JUCHANI CHURA				
UBICACIÓN	: AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO				
MUESTRA	: C-1	ESTRATO	: E5	ESTADO DE MUESTRA	: 15% DE CENIZA
PROFUNDIDAD	: 1.50m	N.F	: NO PRESENTA	FECHA	: 22 DE ABRIL DEL 2023

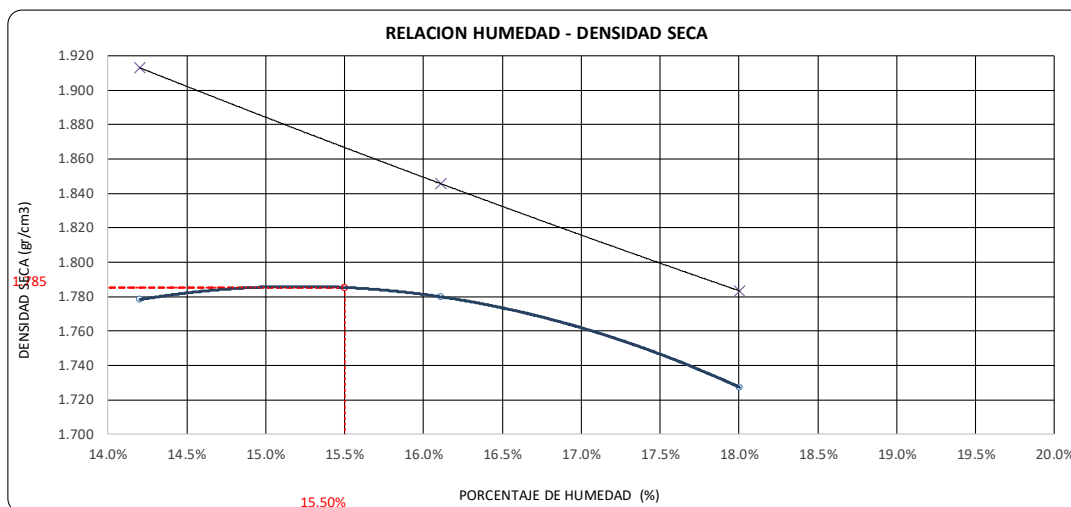
DIÁMETRO DEL MOLDE	4"		6"	VOLUMEN DEL MOLDE (A)	919 cm3	NÚMERO DE CAPAS	5
	A	B	C				
MÉTODO				PESO DEL MOLDE	3889	NÚMERO DE GOLPES	25

P. SUELO HUMEDO + P. MOLDE	gr.	5755	5788	5762	
P. DEL MOLDE	gr.	3889	3889	3889	
P. SUELO HUMEDO	gr/cm3.	1866	1899	1873	
DENSIDAD DE SUELO HUMEDO	gr/cm3.	2.031	2.067	2.038	

	No	16				18	
		T-01	T-03	T-11	T-16	T-04	T-08
PESO SUELO HUMEDO + P. TARA	gr.	86.90	89.65	85.76	88.54	89.76	86.56
PESO SUELO SECO + P. TARA	gr.	78.90	81.09	76.89	79.39	79.90	76.32
PESO DE TARA	gr.	22.20	21.19	22.21	22.20	22.20	22.19
PESO DEL AGUA	gr.	8.00	8.56	8.87	9.15	9.86	10.24
PESO DE SUELO SECO	gr.	56.70	59.90	54.68	57.19	57.70	54.13
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	14.11%	14.29%	16.22%	16.00%	17.09%	18.92%
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	14.20%		16.11%		18.00%	
DENSIDAD DE SUELO SECO	%	1.778		1.780		1.727	

GRADO DE SATURACIÓN	1.913	1.846	1.783	2.627
----------------------------	-------	-------	-------	-------

RESULTADOS			
MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.785	gr/cm3	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD 15.50%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

(MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)

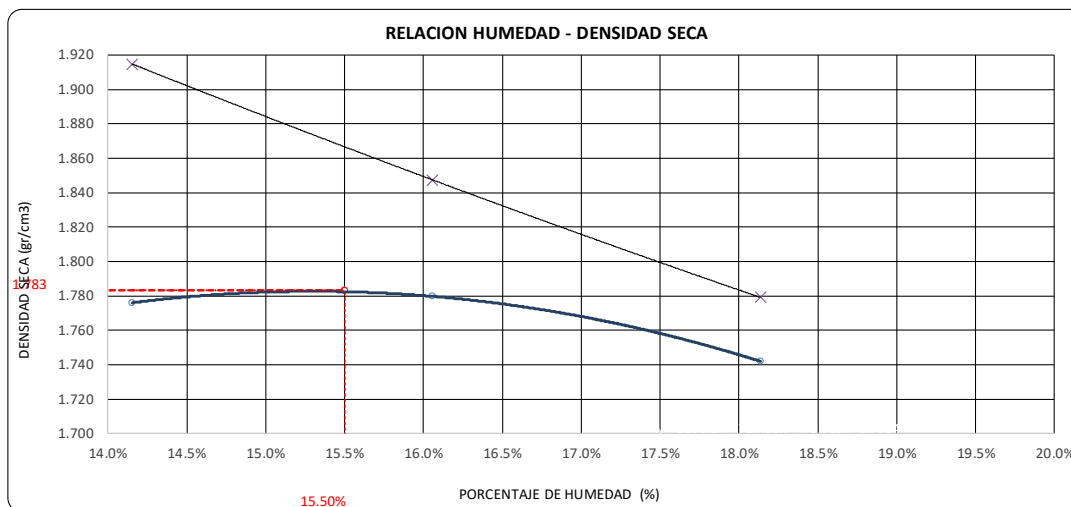
TESIS	: INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTAS	: BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI		
	: BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACIÓN	: AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	: C-1	ESTRATO	: E5
PROFUNDIDAD	: 1.50m	N.F	: NO PRESENTA
		ESTADO DE MUESTRA	: 20% DE CENIZA
		FECHA	: 22 DE ABRIL DEL 2023

DIÁMETRO DEL MOLDE	4"	6"	VOLUMEN DEL MOLDE (A)	919	cm ³	NÚMERO DE CAPAS	5
MÉTODO	A	B	C	PESO DEL MOLDE	3889	NÚMERO DE GOLPES	25

P. SUELO HUMEDO + P. MOLDE	gr.	5752	5787	5780	
P. DEL MOLDE	gr.	3889	3889	3889	
P. SUELO HUMEDO	gr/cm ³ .	1863	1898	1891	
DENSIDAD DE SUELO HUMEDO	gr/cm ³ .	2.027	2.065	2.058	

	No	16			18		
	T-10	T-13	T-15	T-18	T-06	T-09	
PESO SUELO HUMEDO + P. TARA	gr.	84.00	89.65	86.76	88.54	89.76	86.56
PESO SUELO SECO + P. TARA	gr.	76.40	81.09	77.80	79.39	79.47	76.60
PESO DE TARA	gr.	22.20	21.19	22.21	22.20	22.20	22.19
PESO DEL AGUA	gr.	7.60	8.56	8.96	9.15	10.29	9.96
PESO DE SUELO SECO	gr.	54.20	59.90	55.59	57.19	57.27	54.41
PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	14.02%	14.29%	16.12%	16.00%	17.97%	18.31%
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	14.16%		16.06%		18.14%	
DENSIDAD DE SUELO SECO	%	1.776		1.780		1.742	
GRADO DE SATURACIÓN		1.915		1.847		1.779	
						2.627	

RESULTADOS			
MAXIMA DENSIDAD SECA	1.783	gr/cm ³	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
			15.50%



ENSAYO DE CBR

TESIS : INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES

TESISTAS : BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI
BACH. DAVID JUCHANI CHURA

UBICACION : AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO

MUESTRA : C1 ESTRATO: E5 ESTADO DE MUESTRA : NATURAL

PROFUNDIDAD: 1.50M NF : NO PRESENTA FECHA : 30 DE ABRIL DEL 2023

MOLDE No	I		II		III	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11680	11665	11678	11670	11734	11694
Peso del Molde	gr.	7237	7237	7215	7215	7217	7217
Peso del Suelo Humedo	gr.	4443	4428	4463	4455	4517	4477
Volumen del Suelo	cc.	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.072	2.065	2.081	2.078	2.107	2.088

Capsula No	No	3	11	23	5	3	16	2	1	6
Suelo Humedo + Capsula	gr.	218.14	221.16	199.15	198.36	189.23	179.55	189.30	186.78	194.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	183.28	185.47	175.85	170.50	163.90	158.54	165.68	162.05	170.25
Peso del Agua	gr.	34.86	35.69	23.30	27.86	25.33	21.01	23.62	24.73	23.75
Peso de la Capsula	gr.	27.14	30.39	30.24	23.38	31.02	27.14	24.05	26.99	21.59
Peso del Suelo Seco	gr.	156.14	155.08	145.61	147.12	132.88	131.40	141.63	135.06	148.66
%de Humedad	%	22.33%	23.01%	16.00%	18.94%	19.06%	15.99%	16.68%	18.31%	15.98%
Promedio de Humedad	%	22.67%	16.00%	19.00%	15.99%	17.49%	15.98%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.689	1.780	1.749	1.791	1.793	1.800			

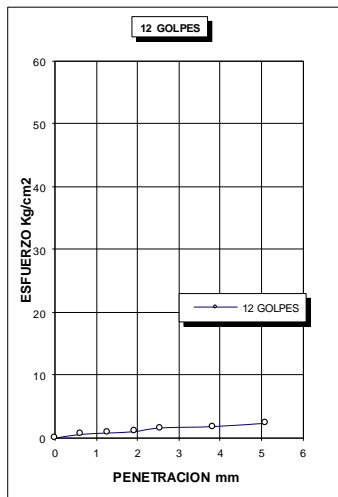
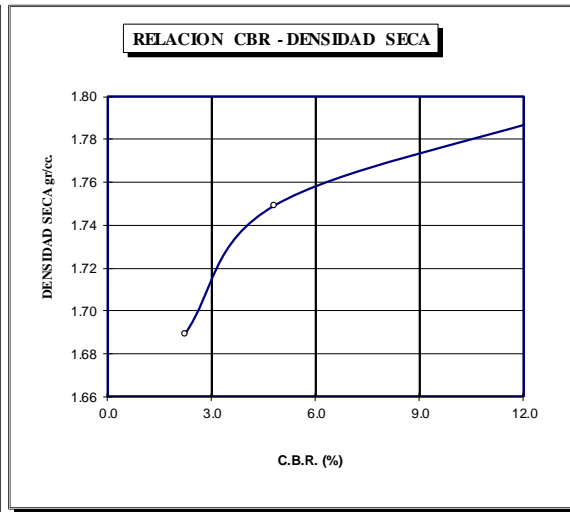
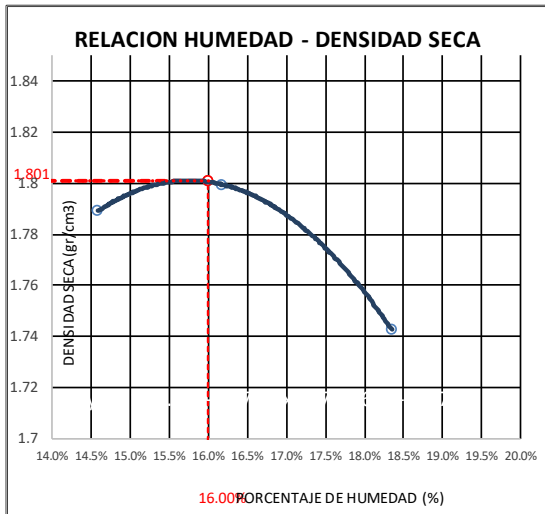
EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	10:10: a.m.	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0
21/04/2023	10:10: a.m.	24:00:00	0.55	0.55	0.4331	0.40	0.40	0.315	0.18	0.18	0.142
22/04/2023	10:10: a.m.	48:00:00	0.63	0.63	0.4961	0.44	0.44	0.346	0.21	0.21	0.165
23/04/2023	10:10: a.m.	72:00:00	1.04	1.04	0.8189	0.50	0.50	0.394	0.24	0.24	0.189
24/04/2023	10:10: a.m.	96:00:00	1.15	1.15	0.9055	0.54	0.54	0.425	0.26	0.26	0.205

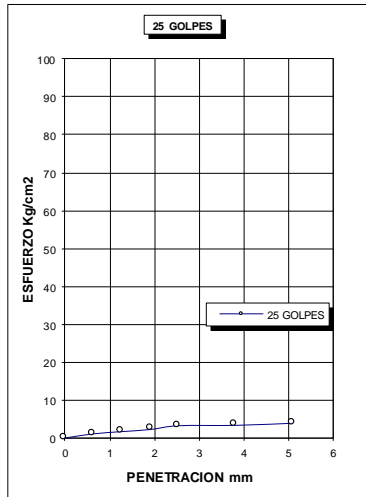
PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No I				MOLDE No II				MOLDE No III			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.63	00:30		11	11.0	0.6		22	22.0	1.1		56	56.0	2.8	
1.27	01:00		15	15.0	0.8		34	34.0	1.7		108	108.0	5.5	
1.91	01:30		19	19.0	1.0		45	45.0	2.3		151	151.0	7.6	
2.54	02:00	70.31	30	30.0	1.5		65	65.0	3.3		180	180.0	9.1	
3.81	03:00		34	34.0	1.7		67	67.0	3.4		238	238.0	12.0	
5.09	04:00	105.00	44	44.0	2.2		78	78.0	3.9		273	273.0	13.8	
6.35	05:00		56	56.0	2.8		98	98.0	5.0		296	296.0	15.0	
7.62	06:00		62	62.0	3.1		103	103.0	5.2		331	331.0	16.7	
8.84	07:00		66	66.0	3.3		132	132.0	6.7		348	348.0	17.6	
10.16	08:00		76	76.0	3.8		138	138.0	7.0		368	368.0	18.6	

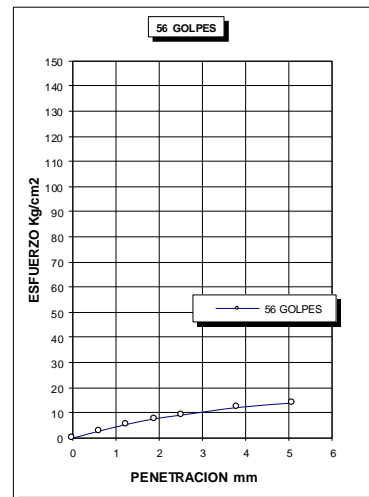
TESIS :	INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTA :	BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACION :	AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA :	C1	ESTRATO :	E5
ESTADO DE MUESTRA :	NATURAL		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc): 1.801
CLASIFICACION: SUCS :	CL -ASSTHO		HUMEDAD OPTIMA (%): 16.00
FECHA: 30 DE ABRIL DEL 2023			CBR AL 100% DE M.D.S(%): 9
			CBR AL 95% DE M.D.S(%): 5



CBR 2



CBR 5



CBR 13

ENSAYO DE CBR

TESIS : INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES

TESISTAS : BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI
BACH. DAVID JUCHANI CHURA

UBICACION : AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO

MUESTRA : C1 ESTRATO: E5 ESTADO DE MUESTRA : MEJORADO EN 10% DE C.F.

PROFUNDIDAD: 1.50M NF : NO PRESENTA FECHA: 30 DE ABRIL DEL 2023

MOLDE No	I		II		III	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11585	11582	11650	11643	11735	11655
Peso del Molde	gr.	7230	7237	7215	7215	7218	7216
Peso del Suelo Humedo	gr.	4355	4345	4435	4428	4517	4439
Volumen del Suelo	cc.	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.031	2.026	2.068	2.065	2.107	2.070

Capsula No	No	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Suelo Humedo + Capsula	gr.	216.68	217.89	199.11	199.36	191.66	179.50	191.62	186.78	194.04
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	183.15	185.30	175.85	170.50	163.90	158.54	165.68	162.05	170.25
Peso del Agua	gr.	33.53	32.59	23.26	28.86	27.76	20.96	25.94	24.73	23.79
Peso de la Capsula	gr.	27.00	30.35	30.21	23.34	31.00	27.00	24.12	26.00	21.55
Peso del Suelo Seco	gr.	156.15	154.95	145.64	147.16	132.90	131.54	141.56	136.05	148.70
%de Humedad	%	21.47%	21.03%	15.97%	19.61%	20.89%	15.93%	18.32%	18.18%	16.00%
Promedio de Humedad	%	21.25%	15.97%	20.25%	15.93%	18.25%	16.00%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.675	1.747	1.720	1.781	1.781	1.785			

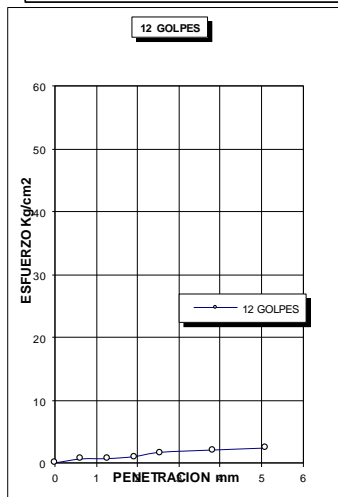
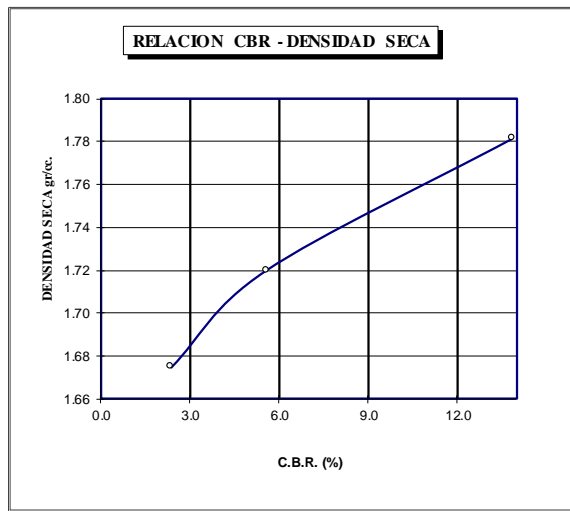
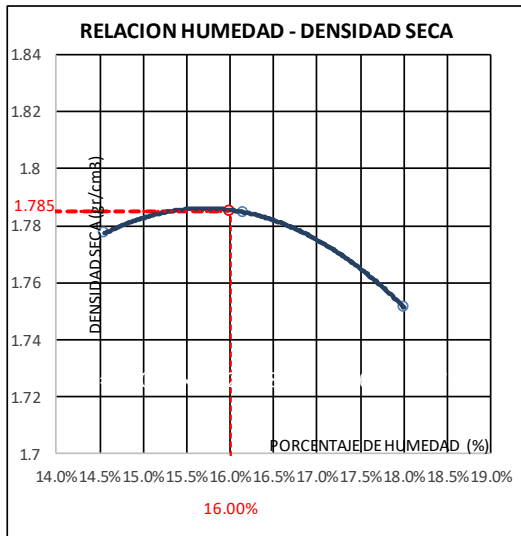
EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	10:10: a.m.	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0
21/04/2023	10:10: a.m.	24:00:00	0.53	0.53	0.4173	0.38	0.38	0.299	0.17	0.17	0.134
22/04/2023	10:10: a.m.	48:00:00	0.62	0.62	0.4882	0.43	0.43	0.339	0.20	0.2	0.157
23/04/2023	10:10: a.m.	72:00:00	1	1.00	0.7874	0.49	0.49	0.386	0.25	0.25	0.197
24/04/2023	10:10: a.m.	96:00:00	1.11	1.11	0.874	0.53	0.53	0.417	0.25	0.25	0.197

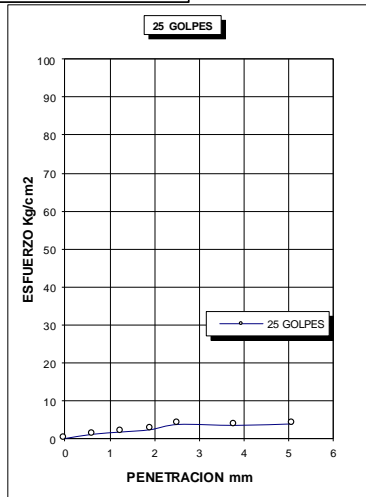
PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No I				MOLDE No II				MOLDE No III			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.63	00:30		12	12.0	0.6		23	23.0	1.2		58	58.0	2.9	
1.27	01:00		13	13.0	0.7		35	35.0	1.8		112	112.0	5.7	
1.91	01:30		19	19.0	1.0		47	47.0	2.4		137	137.0	6.9	
2.54	02:00	70.31	32	32.0	1.6		75	75.0	3.8		187	187.0	9.5	
3.81	03:00		39	39.0	2.0		70	70.0	3.5		230	230.0	11.6	
5.09	04:00	105.00	45	45.0	2.3		78	78.0	3.9		271	271.0	13.7	
6.35	05:00		57	57.0	2.9		99	99.0	5.0		299	299.0	15.1	
7.62	06:00		63	63.0	3.2		105	105.0	5.3		332	332.0	16.8	
8.84	07:00		67	67.0	3.4		140	140.0	7.1		345	345.0	17.4	
10.16	08:00		78	78.0	3.9		142	142.0	7.2		370	370.0	18.7	

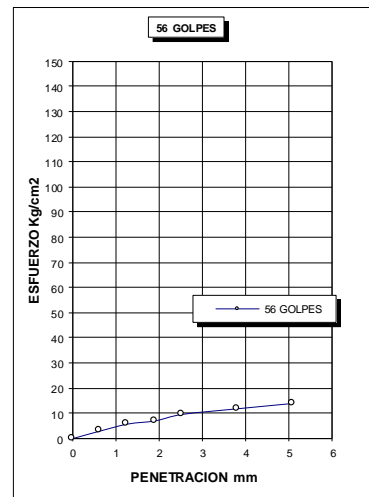
TESIS:	INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTA	BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACION	AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	C1	ESTRATO: E5	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc): 1.785
ESTADO DE MUESTRA	INALTERADO		HUMEDAD OPTIMA (%): 16
CLASIFICACION: SUCS: CL -ASSTHO:			CBR AL 100% DE M.D.S(%):11
FECHA: 30 DE ABRIL DEL 2023			CBR AL 95% DE M.D.S(%): 6



CBR 2



CBR 6



CBR 14

ENSAYO DE CBR

TESIS : INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES

TESISTAS : BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI
BACH. DAVID JUCHANI CHURA

UBICACION : AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO

MUESTRA : C1 **ESTRATO:** E5 **ESTADO DE MUESTRA** : MEJORADO EN 15% DE C.F.

PROFUNDIDAD: 1.50M **NF** : NO PRESENTA **FECHA** : 30 DE ABRIL DEL 2023

MOLDE No	I		II		III	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11601	11581	11540	11520	11720	11638
Peso del Molde	gr.	7230	7237	7215	7215	7217	7217
Peso del Suelo Humedo	gr.	4371	4344	4325	4305	4503	4421
Volumen del Suelo	cc.	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.038	2.026	2.017	2.008	2.100	2.062

Capsula No	No	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	199.36	200.86	198.50	198.00	195.00	170.00	189.62	185.00	193.34	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	168.00	172.00	175.85	172.50	168.90	158.54	165.68	162.05	170.29	
Peso del Agua	gr.	31.36	28.86	22.65	25.50	26.10	11.46	23.94	22.95	23.05	
Peso de la Capsula	gr.	27.12	30.36	30.21	23.36	31.03	27.13	24.11	26.95	21.54	
Peso del Suelo Seco	gr.	140.88	141.64	145.64	149.14	137.87	131.41	141.57	135.10	148.75	
% de Humedad	%	22.26%	20.38%	15.55%	17.10%	18.93%	8.72%	16.97%	16.99%	15.50%	
Promedio de Humedad	%	21.32%		15.55%		18.01%		8.72%		16.95%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.680		1.753		1.709		1.847		1.796	

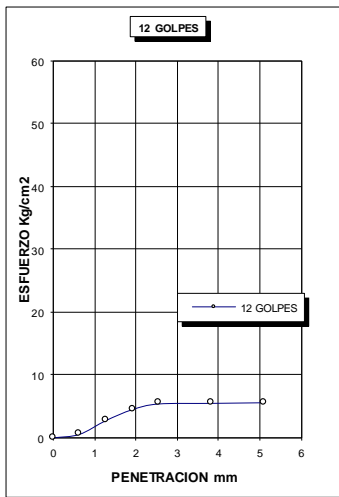
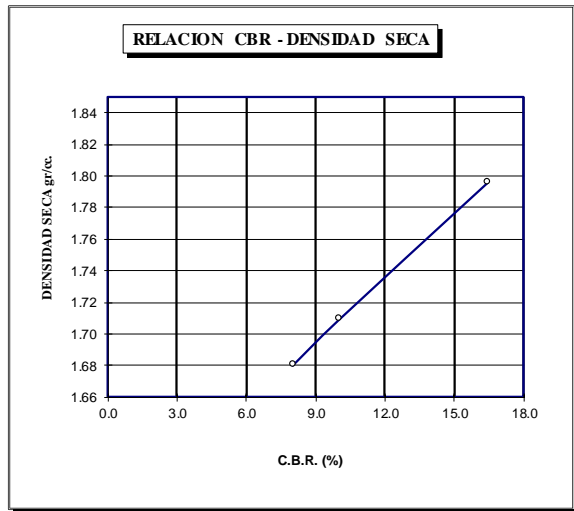
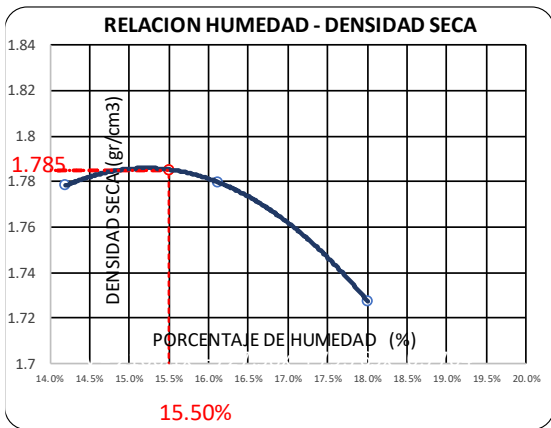
EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	10:10: a.m.	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0
21/04/2023	10:10: a.m.	24:00:00	0.50	0.5	0.3937	0.36	0.36	0.283	0.16	0.16	0.126
22/04/2023	10:10: a.m.	48:00:00	0.6	0.6	0.4724	0.40	0.40	0.315	0.19	0.19	0.15
23/04/2023	10:10: a.m.	72:00:00	0.98	0.98	0.7717	0.50	0.50	0.394	0.24	0.24	0.189
24/04/2023	10:10: a.m.	96:00:00	1.05	1.05	0.8268	0.52	0.52	0.409	0.25	0.25	0.197

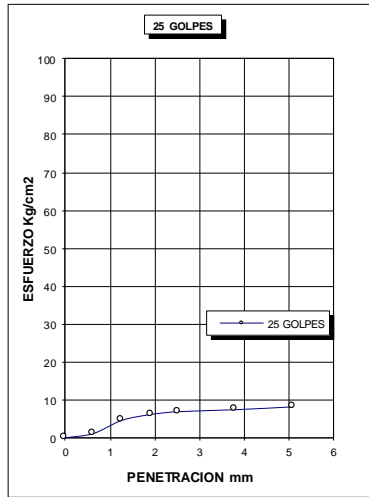
PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No I				MOLDE No II				MOLDE No III			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.63	00:30		11	11.0	0.6		22	22.0	1.1		56	56.0	2.8	
1.27	01:00		55	55.0	2.8		90	90.0	4.5		108	108.0	5.5	
1.91	01:30		90	90.0	4.5		120	120.0	6.1		151	151.0	7.6	
2.54	02:00	70.31	108	108.0	5.5		135	135.0	6.8		222	222.0	11.2	
3.81	03:00		110	110.0	5.6		145	145.0	7.3		298	298.0	15.1	
5.09	04:00	105.00	112	112.0	5.7		160	160.0	8.1		305	305.0	15.4	
6.35	05:00		118	118.0	6.0		180	180.0	9.1		316	316.0	16.0	
7.62	06:00		123	123.0	6.2		195	195.0	9.9		331	331.0	16.7	
8.84	07:00		150	150.0	7.6		200	200.0	10.1		348	348.0	17.6	
10.16	08:00		215	215.0	10.9		255	255.0	12.9		368.00	368.0	18.6	

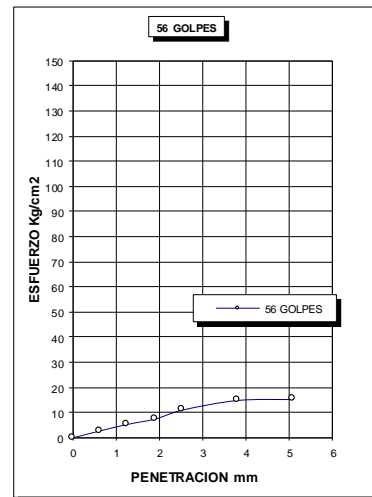
TESIS:	INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTA	BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACION	AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	C1	ESTRATO: E5	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc): 1.785
ESTADO DE MUESTRA	INALTERADO		HUMEDAD OPTIMA (%): 15.50
CLASIFICACION: SUCS: CL - ASSTHO:			CBR AL 100% DE M.D.S(%):16
FECHA: 30 DE ABRIL DEL 2023			CBR AL 95% DE M.D.S(%): 9.0



CBR 8



CBR 10



CBR 16

ENSAYO DE CBR

TESIS : INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES

TESISTAS : BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI
BACH. DAVID JUCHANI CHURA

UBICACION : AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO

MUESTRA : C1 ESTRATO: E5 ESTADO DE MUESTRA : MEJORADO EN 20% DE C.F.

PROFUNDIDAD: 1.50M NF : NO PRESENTA FECHA : 30 DE ABRIL DEL 2023

MOLDE No	I		II		III	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11590	11580	11591	11565	11680	11675
Peso del Molde	gr.	7230	7237	7215	7215	7217	7217
Peso del Suelo Humedo	gr.	4360	4343	4376	4350	4463	4458
Volumen del Suelo	cc.	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3	2144.3
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.033	2.025	2.041	2.029	2.081	2.079

Capsula No	No	12	4	65	32	78	13	22	24	26
Suelo Humedo + Capsula	gr.	218.71	218.00	201.99	202.80	189.00	178.40	191.12	184.00	193.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	183.14	185.27	175.80	170.51	163.92	158.52	165.63	162.00	170.23
Peso del Agua	gr.	35.57	32.73	26.19	32.29	25.08	19.88	25.49	22.00	23.07
Peso de la Capsula	gr.	27.11	30.36	30.21	23.34	31.00	27.11	24.00	26.90	21.50
Peso del Suelo Seco	gr.	156.03	154.91	145.59	147.17	132.92	131.41	141.63	135.10	148.73
% de Humedad	%	22.80%	21.13%	17.99%	21.94%	18.87%	15.13%	18.00%	16.28%	15.51%
Promedio de Humedad	%	21.96%	17.99%	20.40%	15.13%	17.14%	15.51%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.667	1.717	1.695	1.762	1.777	1.800			

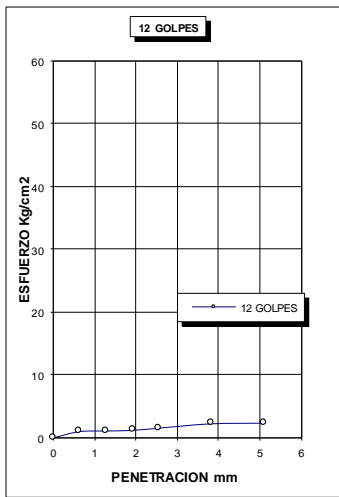
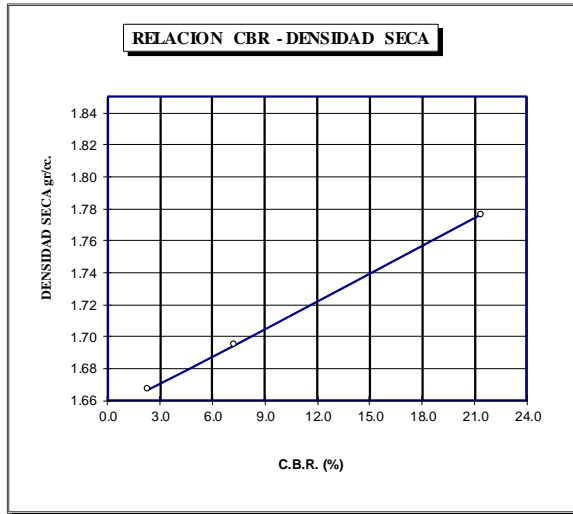
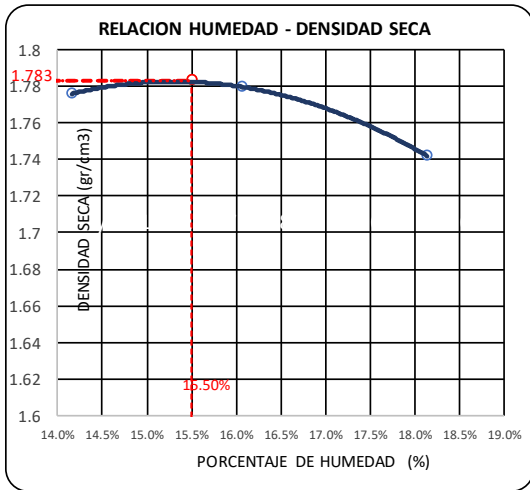
EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	10:10: a.m.	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0
21/04/2023	10:10: a.m.	24:00:00	0.48	0.48	0.378	0.33	0.33	0.26	0.14	0.14	0.11
22/04/2023	10:10: a.m.	48:00:00	0.54	0.54	0.4252	0.39	0.39	0.307	0.18	0.18	0.142
23/04/2023	10:10: a.m.	72:00:00	0.95	0.95	0.748	0.49	0.49	0.386	0.21	0.21	0.165
24/04/2023	10:10: a.m.	96:00:00	1.01	1.01	0.7953	0.50	0.50	0.394	0.22	0.22	0.173

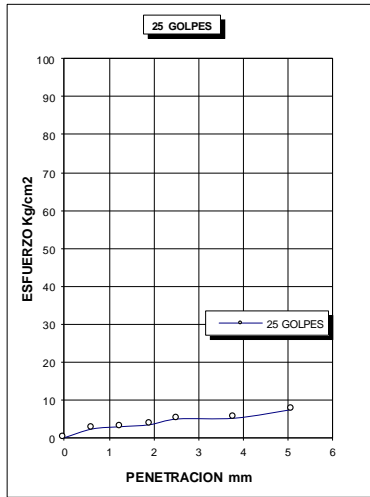
PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No I				MOLDE No II				MOLDE No III			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.63	00:30		20	20.0	1.0		46	46.0	2.3		64	64.0	3.2	
1.27	01:00		22	22.0	1.1		58	58.0	2.9		115	115.0	5.8	
1.91	01:30		24	24.0	1.2		68	68.0	3.4		153	153.0	7.7	
2.54	02:00	70.31	31	31.0	1.6		98	98.0	5.0		289	289.0	14.6	
3.81	03:00		45	45.0	2.3		102	102.0	5.2		312	312.0	15.8	
5.09	04:00	105.00	47	47.0	2.4		147	147.0	7.4		349	349.0	17.6	
6.35	05:00		56	56.0	2.8		180	180.0	9.1		389	389.0	19.7	
7.62	06:00		68	68.0	3.4		201	201.0	10.2		401	401.0	20.3	
8.84	07:00		70	70.0	3.5		240	240.0	12.1		434	434.0	21.9	
10.16	08:00		80	80.0	4.0		260	260.0	13.1		456	456.0	23.1	

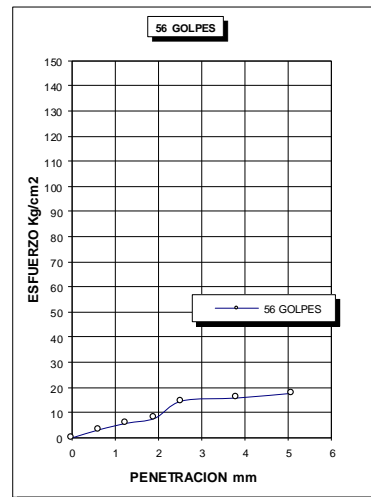
TESIS:	INFLUENCIA DE LA CENIZA DE FONDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTES		
TESISTA	BACH. ELVIS ALEXANDER CALIZAYA SACARI BACH. DAVID JUCHANI CHURA		
UBICACION	AV. JULIACA - DISTRITO JULIACA - PROVINCIA SAN ROMAN - DEPARTAMENTO PUNO		
MUESTRA	C1	ESTRATO: E5	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc): 1.783
ESTADO DE MUESTRA	INALTERADO		HUMEDAD OPTIMA (%): 15.5
CLASIFICACION: SUCS: CL - ASSTHO:			CBR AL 100% DE M.D.S(%): 21
FECHA: 30 DE ABRIL DEL 2023			CBR AL 95% DE M.D.S(%): 11



CBR 2



CBR 7



CBR 21