

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización  
de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso  
Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua, 2021**

Edgar Mamanchura Mamanchura

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Moquegua, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Tesis

## INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="https://360enconcreto.com">360enconcreto.com</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="https://geologiaweb.com">geologiaweb.com</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
9	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

10	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
11	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad ESAN -- Escuela de Administración de Negocios para Graduados Trabajo del estudiante	<1 %
17	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
18	www.guzlop-editoras.com Fuente de Internet	<1 %
19	ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %

21	<a href="http://informatica.upla.edu.pe">informatica.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://repositorio.upt.edu.pe">repositorio.upt.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://scielo.conicyt.cl">scielo.conicyt.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

33

[cybertesis.uni.edu.pe](http://cybertesis.uni.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

34

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1 %

35

[www.360enconcreto.com](http://www.360enconcreto.com)

Fuente de Internet

<1 %

36

[repositorio.uprit.edu.pe](http://repositorio.uprit.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

37

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

38

[issuu.com](http://issuu.com)

Fuente de Internet

<1 %

39

[repositorio.unach.edu.pe](http://repositorio.unach.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

40

[repositorio.uta.edu.ec](http://repositorio.uta.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

41

Submitted to Universidad Senor de Sipan

Trabajo del estudiante

<1 %

42

[library.iitbbs.ac.in](http://library.iitbbs.ac.in)

Fuente de Internet

<1 %

43

[repositorio.continental.edu.pe](http://repositorio.continental.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

44	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
47	<a href="http://distancia.udh.edu.pe">distancia.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
48	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://revistas.sena.edu.co">revistas.sena.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1 %
52	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
54	Submitted to Western Governors University Trabajo del estudiante	<1 %
55	<a href="http://link.springer.com">link.springer.com</a> Fuente de Internet	<1 %

56

Submitted to Universidad del Valle

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

57

[pirhua.udep.edu.pe](http://pirhua.udep.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

58

[repositorio.unal.edu.co](http://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

&lt;1 %

59

UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.  
"VI CONGRESO INTERNACIONAL DE  
INGENIERÍAS: "INGENIERÍA PARA FORMAR  
UNA SOCIEDAD SOSTENIBLE"", Editorial  
Internacional Runaiki, 2019

Publicación

&lt;1 %

60

Submitted to Universidad Alas Peruanas

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

61

[cvs.enit.kku.ac.th](http://cvs.enit.kku.ac.th)

Fuente de Internet

&lt;1 %

62

[dspace.umh.es](http://dspace.umh.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

63

[repositorio.ucp.edu.pe](http://repositorio.ucp.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

64

Submitted to Universidad Jose Carlos  
Mariategui

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

65

[prensaregional.pe](http://prensaregional.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %



66	<a href="http://repositorio.unu.edu.pe">repositorio.unu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
67	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1 %
68	<a href="http://www.citethisforme.com">www.citethisforme.com</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://www.congreso.gob.pe">www.congreso.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://centros5.pntic.mec.es">centros5.pntic.mec.es</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="http://fundacion-antama.org">fundacion-antama.org</a> Fuente de Internet	<1 %
72	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
73	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
74	<a href="http://repositorio.umsa.bo">repositorio.umsa.bo</a> Fuente de Internet	<1 %
75	<a href="http://slidehtml5.com">slidehtml5.com</a> Fuente de Internet	<1 %
76	<a href="http://baixardoc.com">baixardoc.com</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

78	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="https://journal.ugm.ac.id">journal.ugm.ac.id</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="https://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="https://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
84	Submitted to City University of New York System Trabajo del estudiante	<1 %
85	Miguel Barboza-Palomino, Gonzalo Salas, Wendy K. Rojas-Portocarrero, Tomás Caycho-Rodríguez et al. "Traffic safety competencies in Peruvian high school students", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2020 Publicación	<1 %
86	<a href="https://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
87	<a href="https://fai.unne.edu.ar">fai.unne.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

88

[repositorio.pucp.edu.pe](http://repositorio.pucp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

89

[repositorio.uncp.edu.pe](http://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

90

[upc.aws.openrepository.com](http://upc.aws.openrepository.com)

Fuente de Internet

<1 %

91

[www.mordorintelligence.com](http://www.mordorintelligence.com)

Fuente de Internet

<1 %

92

[www.munipuentepiedra.gob.pe](http://www.munipuentepiedra.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

93

[www.revistabiomedica.org](http://www.revistabiomedica.org)

Fuente de Internet

<1 %

94

[www.tramiteparlamentario.com](http://www.tramiteparlamentario.com)

Fuente de Internet

<1 %

95

[www.unicauca.edu.co](http://www.unicauca.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

96

G. Kovalchuk, A. Fernández-Jiménez, A. Palomo. "Activación alcalina de cenizas volantes. Relación entre el desarrollo mecánico resistente y la composición química de la ceniza", *Materiales de Construcción*, 2008

Publicación

<1 %

97	<a href="http://myslide.es">myslide.es</a> Fuente de Internet	<1 %
98	<a href="http://negociosycomunicaciones.wordpress.com">negociosycomunicaciones.wordpress.com</a> Fuente de Internet	<1 %
99	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
100	<a href="http://transportesynegocios.wordpress.com">transportesynegocios.wordpress.com</a> Fuente de Internet	<1 %
101	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
102	<a href="http://www.dvdadvdr.com">www.dvdadvdr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
103	Santiago Juan García Espallargas. "Formulación de imprimaciones epoxi en polvo de curado a bajas temperaturas basadas en triflatos de lantánido. Desarrollo de una técnica electroquímica para la evaluación acelerada de la protección anticorrosiva de recubrimientos orgánicos:...", Universitat Politecnica de Valencia, 2006 Publicación	<1 %
104	<a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Apagado

Excluir bibliografía      Apagado

Excluir coincidencias      Apagado

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, por darme la vida y la salud; a mi madre, por ser fuente de mi apoyo e inspiración en todo momento; a mi pareja porque cuando estuve mal de salud me apoyó bastante; a mis hermanos y sobrinos, y a mis docentes catedráticos por las enseñanzas que me dieron en todo momento. Por último, a mis compañeros de la universidad.

Edgar Mamanchura Mamanchura

### **Agradecimiento**

En primer término, agradecer a mi Señor que está en el cielo; a mi madre que siempre me apoyó desde niño; a mis hermanos y amigos ingenieros que me dieron el espacio para realizar trabajos referentes a mi tesis; a mi abuelita que está en el cielo, la quiero mucho y la extraño; a mi pareja que siempre está apoyándome en todo momento y me entiende. Solo me queda decirles gracias.

Edgar Mamanchura Mamanchura

## Índice de Contenido

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>II</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>III</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>X</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>XI</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I: Planteamiento del Estudio.....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del Problema de Investigación .....	3
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.2.1 Problema Principal .....	7
1.2.2 Problemas Específicos .....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	8
1.3.1 Objetivo Principal .....	8
1.3.2 Objetivos Específicos .....	8
1.4 Justificación e Importancia de la Investigación.....	8
1.4.1 Justificación de la Investigación .....	8
1.4.2 Importancia de la Investigación .....	9
1.5 Hipótesis de Investigación .....	9
1.5.1 Hipótesis General.....	9
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	9
1.6 Variables y Operacionalización .....	10
1.6.1 Variable Independiente .....	10
1.6.2 Variable Dependiente .....	10
1.6.3 Operacionalización de las Variables.....	11
<b>Capítulo II: Marco Teórico de la Investigación.....</b>	<b>12</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	12
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	12
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	15
2.2 Bases Teóricas .....	19
2.2.2 Estabilización de la Subrasante.....	19
2.2.3 Métodos de Estabilización de Suelos .....	20
2.2.4 Propiedades de Estabilización .....	23
2.2.5 Cenizas Volantes.....	28
2.2.6 Propiedades de Una Buena Ceniza Volante .....	29



2.2.7 Características de las Cenizas Volantes .....	29
2.2.8 Requisito Indispensable para el Uso de Cenizas Volantes como SCM .....	30
2.2.9 Optimización de Propiedades de las Cenizas Volantes.....	31
2.2.10 Optimización del Suelo con Cenizas Volantes .....	33
2.3 Definición de Términos .....	34
<b>Capítulo III: Marco Metodológico .....</b>	<b>36</b>
3.1 Tipo, Alcance y Diseño de Investigación .....	36
3.1.1 Tipo de Investigación .....	36
3.1.2 Alcance de la Investigación.....	36
3.1.3 Diseño de la Investigación .....	36
3.2 Unidad de Análisis, Población y Muestra.....	37
3.2.1 Unidades de Análisis .....	37
3.2.2 Población de la Investigación .....	37
3.2.3 Muestra de la Investigación.....	37
3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	38
3.3.1 Técnica de Recolección de Datos.....	38
3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos .....	39
3.4 Técnicas de Análisis de Datos .....	39
3.4.1 Procedimiento para la Estabilización del Suelo .....	39
3.4.2 Método de Análisis de Datos .....	41
<b>Capítulo IV: Resultados de la Investigación .....</b>	<b>42</b>
4.1 Propiedades Físico-Mecánicas del Suelo Base .....	42
4.1.1 Estudio Granulométrico .....	42
4.1.2 Clasificación de la Muestra en Estado Natural .....	42
4.1.3 Clasificación Final de Suelos.....	43
4.1.4 Contenido de Humedad de las Muestras .....	44
4.1.5 Estudio de Límites de Consistencia.....	44
4.1.6 Proctor Modificado en Suelo Natural .....	46
4.1.7 Californian Bearing Ratio (CBR) Muestra Natural .....	47
4.1.8 Suelo en Estado Natural .....	48
4.2 Propiedades Mecánicas de las Muestras de Ceniza Volante .....	49
4.2.1 Clasificación de Suelos Cenizas Volantes.....	50
4.2.2 Índice de Plasticidad de Ceniza Volante .....	51

4.2.3 Humedad y Contenido de Partículas de las Cenizas Volantes .....	53
4.3 Propiedades Físico Mecánicas del Estabilizado .....	54
4.3.1 Cálculo de Mezcla Recomendable Promedio de Suelos para Estabilización de Material Arena Arcillosa con Ceniza Volante .....	54
4.3.2 <i>Cuadro Resumen de Resultados del Estudio</i> .....	58
4.4 Comparativa de Resultados Obtenidos por Calicata Según Estudio .....	59
4.4.1 Plasticidad de la Subrasante .....	59
4.4.2 Relación Densidad vs. Humedad Óptima de la Muestra .....	60
4.4.3 Optimización del CBR para la Muestra .....	61
4.4.4 Prueba de normalidad Shapiro Wilks .....	63
4.4.5 Prueba de hipótesis r de Pearson .....	64
4.5 Verificación de la Hipótesis .....	66
<b>Capítulo V: Discusión</b> .....	<b>68</b>
5.1 Discusión de Resultados .....	68
<b>Conclusiones</b> .....	<b>70</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>72</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>77</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Principales razones de las patologías y daños en la infraestructura vial	5
Figura 2: Geología superficial de Moquegua	6
Figura 3: Estabilización de suelos con en infraestructura vial	20
Figura 4: Compactación volumétrica de suelos	23
Figura 5: Compactación volumétrica de suelos	24
Figura 6: Infiltración de Humedad en suelos	26
Figura 7: Compresibilidad de los suelos	27
Figura 8: Durabilidad de los suelos	28
Figura 9: Incremento del índice de actividad por molienda de ceniza	31
Figura 10: Optimización de ceniza: paso de una PPI alta y variable (rojo) a baja y uniforme (azul)	33
Figura 11: Diagrama de distribución de partículas – granulometría muestra natural	43
Figura 12: Diagrama de Fluides Calicata C1	45
Figura 13: Diagrama de Fluides Calicata C2	45
Figura 14: Diagrama de Fluides Calicata C3	46
Figura 15: Diagrama relación humedad - densidad seca muestra Natural	47
Figura 16: Curva de penetración vs esfuerzo, CBR 56 golpes	48
Figura 17: Ubicación de la cantera de extracción de cenizas volantes	49
Figura 18: Diagrama de distribución de partículas ceniza volante M1	50
Figura 19: Diagrama de distribución de partículas ceniza volante M2	51
Figura 20: Diagrama de Fluides Ceniza volante M1	52
Figura 21: Diagrama de Fluides Ceniza volante M2	52
Figura 22: Dosificación optima promedio de Arena Arcillosa + Ceniza volante	55

Figura 23: Diagrama relación humedad - densidad seca Arena arcillosa + 22% ceniza volante	56
Figura 24: Curva de penetración vs esfuerzo, CBR 56 golpes Arena arcillosa + 22% ceniza volante	57
Figura 25: Variación de la plasticidad del suelo para dosificaciones del 10%, 15%, 20% y 22%	59
Figura 26: Optimización de la Densidad máxima seca para las muestras dosificadas	60
Figura 27: Optimización del contenido de humedad óptimo para las muestras dosificadas	61
Figura 28: Optimización del CBR al 95% y 100%, tendencia	62
Figura 29: Comparación de resultados prueba de hipótesis	67

**Índice de Tablas**

Tabla 1: Principales razones de las patologías y daños en la infraestructura vial	4
Tabla 2: Operacionalización de variables	11
Tabla 3: Clasificación y propiedades de diferentes mezclas de suelo/cemento	22
Tabla 4: Puntos de Investigación De acuerdo al tipo de Vía	39
Tabla 5: Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO	43
Tabla 6: Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO	44
Tabla 7: Límites de consistencia y plasticidad de los suelos	44
Tabla 8: Valor de CBR para la muestra representativa	47
Tabla 9: Resumen de propiedades físico mecánicas de suelo en estado natural	48
Tabla 10: Clasificación de suelos de las cenizas volantes	50
Tabla 11: Propiedades físico mecánicas de las cenizas volantes	51
Tabla 12: Propiedades físico mecánicas de las cenizas volantes	53
Tabla 13: Valor de CBR para la muestra representativa	54
Tabla 14: Valor de CBR para la Arena arcillosa + 22% ceniza volante	56
Tabla 15: Resultados de la investigación	58
Tabla 16: Mejoramiento de la plasticidad	59
Tabla 17: Relación entre la densidad máxima seca vs contenido de humedad optimo	60
Tabla 18: Optimización del CBR	61
Tabla 19: Prueba de normalidad Shapiro Wilk	63
Tabla 20: Prueba de hipótesis r de Pearson	64
Tabla 21: Contrastación de hipótesis	66

## Resumen

La aplicación de la tecnología y la innovación en la búsqueda de nuevas metodologías en la estabilización de suelos permite realizar un estudio experimental para determinar la influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos con fines de pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte del distrito de San Antonio en la región Moquegua. Ello constituye el objetivo de la presente investigación. Es importante resaltar que para satisfacer los objetivos del estudio se planteó una investigación basada en el método científico del tipo aplicada, realizando tres calicatas para la exploración y toma de muestras; se realizó los ensayos de mecánica de suelos con fines de pavimentación sobre las muestras, considerando dosificaciones controladas del 10 %, 15 % y 20 % de adición de cenizas volantes para determinar su influencia sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo. El proceso para la obtención de los resultados se centró en realizar un EMS de la muestra de suelo en estado natural para identificar las propiedades físicas y mecánicas del terreno. Se obtuvo un tipo de suelo según la clasificación SUCS Arena arcillosa SC. Se excavó hasta 1.50 metros de profundidad, identificando 1.7 % de contenido de humedad, suelo de color beige a rojizo y un suelo cohesivo compacto. Posteriormente, se realizó el mismo estudio para la muestra con la adición controlada. Según las dosificaciones de las cenizas volantes indicadas de este proceso, el valor del CBR inicial fue de 13.512 %, considerando una adición máxima de 22 % de ceniza volante. Se logró el incremento del CBR a 18.917 % obteniendo así un incremento significativo.

**Palabras clave:** Subrasante, ceniza volante, estabilización, dosificación.

### **Abstract**

The application of technology and innovation in the search for new methodologies in soil stabilization makes it possible to propose as an objective of this research to conduct an experimental study to determine the influence of the use of flying ash in the stabilization of soils for paving purposes in Av. Alfonso Ugarte of the district of San Antonio in the Moquegua region. It is important to note that in order to satisfy the objectives of the study, research based on the scientific method of the applied type was proposed, performing 3 calicata for exploration and sampling; soil mechanics tests were carried out for paving purposes on the samples, considering controlled dosages of 10%, 15% and 20% addition of flying ash to determine their influence on the mechanical physical properties of the soil. The process for obtaining the results focuses on performing an EMS of the soil sample in a natural state to identify the physical and mechanical properties of the soil, a soil type was obtained according to the SUCS Clay Sand SC classification, It is excavated up to 1.50 meters deep identifying 1.7% moisture content, beige to reddish ground and is a compact cohesive floor. Later the same study was carried out for the sample with the controlled addition, according to the indicated dosages, of the flying ash, from this process was concluded the value of the initial CBR was 13.512%, considering a maximum addition of 22% of flying ash achieved the increase of the CBR to 18.917% thus achieving a significant increase.

**Keywords:** Subrasante, Flying ash, stabilization, dosing.

## Introducción

El incremento progresivo de la población del país ha estimulado la búsqueda de proyectos como viviendas, carreteras, terraplenes, represas y otras estructuras que apuntan a beneficiar a las comunidades. Por lo tanto, los terrenos donde se construirán estos proyectos deben estar en óptimas condiciones para evitar futuros daños ligados a la calidad de la base fundamental en estos proyectos; es decir, el suelo debe garantizar una buena estabilidad mediante sus propiedades físicas y mecánicas.

Es importante mencionar que no todos los suelos tienen las mismas propiedades y dependiendo de donde se estudie, ciertos suelos pueden ser problemáticos por el daño que se puede ocasionar cuando se presenta la expansión y/o contracción, o por la deficiencia en algunas de sus propiedades mecánicas. Los suelos arcillosos pueden distinguirse en tres conjuntos significativos: illita, caolinita y montmorillonita. Los terrenos arcillosos tienen una característica importante: este suelo se hincha cuando se producen cambios en el contenido líquido, generando modificaciones de volumen en el suelo, provocando perjuicios en las estructuras de la base y la subbase en una vía pavimentada. Además, según los requerimientos que exigen las normas, los suelos deben de cumplir con determinadas características para que puedan funcionar como base fundamental de la estructura de vías pavimentadas.

Un criterio esencial que debe tenerse en consideración es el clima, debido a que en muchas zonas geográficas del territorio nacional el clima es árido, carente de precipitaciones y se ve alterado ante la presencia de fenómenos meteorológicos como el fenómeno “El Niño”. Las principales zonas del Perú con estos suelos, según la CISMID, se encuentran en las regiones del norte, como Piura, Paita, Talara, Chiclayo, Iquitos, Bagua, y en la región sur



de Moquegua. Es muchas veces, bajo este criterio que se pretende mejorar las características del terreno u optar por alternativas para la construcción de nuevos proyectos viales.

Actualmente, existen técnicas diferentes para tratar con suelos carentes de propiedades físicas y mecánicas óptimas. Algunas medidas para combatir este problema se mencionan a continuación: reducir la densidad del suelo mediante una compactación adecuada, reemplazando la arcilla por suelo granular de grado SC SP. Cabe señalar que este método es menos rentable; además, es un recurso no renovable que afecta el medio ambiente y causa molestias a los residentes. Y como técnica final, se modifican las propiedades extendidas por diferentes procesos de mejoramiento del suelo, ya sea de manera física o química, como el uso de cal, cemento (material recomendado), según norma CE.020. Por ello, en este proyecto se realiza la propuesta de utilizar un método de estabilización física, estudiar las cenizas volantes e incorporar una determinada proporción de materiales en el suelo para luego identificar la variación en sus propiedades mediante ensayos mecánicos de suelo como el tamizado de partículas, análisis de tamaño nominal, ensayo de límite líquido, límite plástico e índice plástico, ensayo de Proctor modificado y ensayo de CBR. Mediante la aplicación de estudios específicos y con la obtención de los resultados, es posible comprar y verificar el mejoramiento de suelos mediante la técnica de exportación propuesta. Para identificar la influencia del uso de cenizas volantes en el mejoramiento de suelos para la pavimentación, se planteó el estudio en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.

## Capítulo I: Planteamiento del Estudio

### 1.1 Planteamiento del Problema de Investigación

En el ámbito de la Ingeniería Civil, existe diversidad de proyectos por sus características. Se tiene, por ejemplo, edificaciones, puentes, aeropuertos, etc. Y claro está, también se cuenta con proyectos de infraestructura vial como caminos, carreteras, trochas carrozables y más. Para un profesional, lo ideal al momento de proyectar la construcción de alguna de estas obras de la ingeniería, es trabajar con materiales ideales, con características físicas y mecánicas que resulten lo mejor para las obras de construcción; sin embargo, en la práctica profesional no es recurrente que se alcance este ideal; en el caso específico de pavimentos y carreteras, esta regla se cumple en gran medida, debido a que se complica cumplir con las necesidades de un proyecto en cuanto al tiempo, la programación, los costos, etc.; ello debido en gran medida a la calidad de los materiales con los que se pretende trabajar en un proyecto de infraestructura vial.

Los suelos como material de construcción de la subrasante cumplen una función esencial, ya que funcionan como la capa de interacción de la estructura del pavimento con el suelo propiamente dicho. En muchos casos, la calidad del tipo de suelo base para las estructuras del pavimento es deficiente, presenta propiedades mecánicas que no son capaces de brindar la mayor seguridad para los diseños de la infraestructura vial (Gallardo et al., 2017). En Europa, bajo los criterios técnicos de los códigos, es interesante ver documentos que desde la década de 1970 regulan los posibles usos y las especificaciones requeridas para el tratamiento de suelos de carreteras, y presentar opciones de estabilización con materiales como la cal. El suelo es un agregado no cementado de partículas minerales y orgánicas adicional a los líquidos y gases que ocupan el espacio vacío entre las partículas sólidas. Este se encarga de resistir las fuerzas que le impregnan los vehículos a la superficie rodante. Si el suelo no tiene las propiedades adecuadas en un estado que pueda soportar las condiciones, se

decide reemplazarlo por un suelo que tenga las propiedades adecuadas o estabilizarlo para modificar su naturaleza o propiedades físico-mecánicas. La característica actual es la construcción de nuevas metodologías y tecnologías de procesos encaminados a conseguir mejoras en cuanto a las propiedades y el máximo aprovechamiento de las características del mismo. Gran parte de este esfuerzo se ha dirigido a la producción de inductores y modificadores del comportamiento del suelo y materiales adicionales.

En un estudio realizado por Kraemer et al. (2017) en Latinoamérica, se encontró que una de las principales razones de la patología y daños a corto y mediano plazo de la infraestructura del pavimento es el EMS y las características de los mismos.

**Tabla 1**

*Principales razones de las patologías y daños en la infraestructura vial*

<b>Razones de Patologías y daños en la infraestructura vial</b>	<b>cantidad de proyectos</b>	<b>porcentaje</b>
Propiedades Mecánicas del suelo	96	51.89%
Diseño del pavimento	54	29.19%
condiciones climáticas	7	3.78%
desastres naturales	15	8.11%
otros	13	7.03%
Total	185	100.00%

*Nota.* Adaptado de “Ingeniería de carreteras”, por Kraemer et al., 2017.

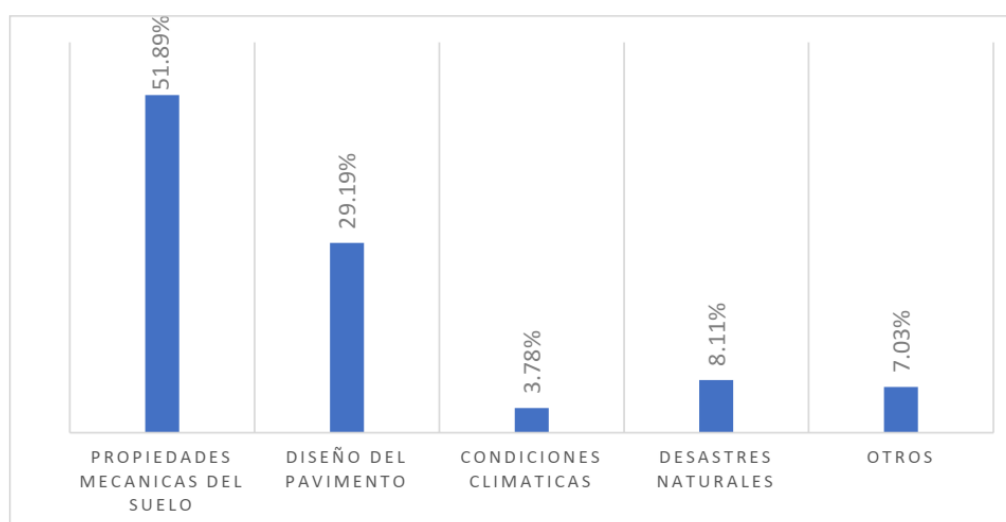
En la Figura 1 se muestran las principales razones de las patologías y daños de la infraestructura vial, identificando que las propiedades mecánicas del suelo conforman la principal razón con un 51.89 %.

Cuando los suelos no cumplen con las solicitudes adecuadas según la norma para formar parte de la base de la construcción de la infraestructura vial, no se puede detener la construcción, no se puede detener el progreso, se cae en la necesidad de utilizar estos suelos en la construcción de los proyectos; pero para poder utilizar este material, en la actualidad existen muchas formas de hacer que sus propiedades mejoren, para que tengan un mejor

comportamiento y sean más adecuadas para la construcción de las obras de ingeniería. Estos métodos y formas de hacer que las propiedades del suelo mejoren se denominan métodos de estabilización. Estos métodos consisten básicamente en incorporar partículas y agentes adicionales que ayuden a mejorar de manera directa las propiedades físico-mecánicas del suelo.

### Figura 1

*Principales razones de las patologías y daños en la infraestructura vial*



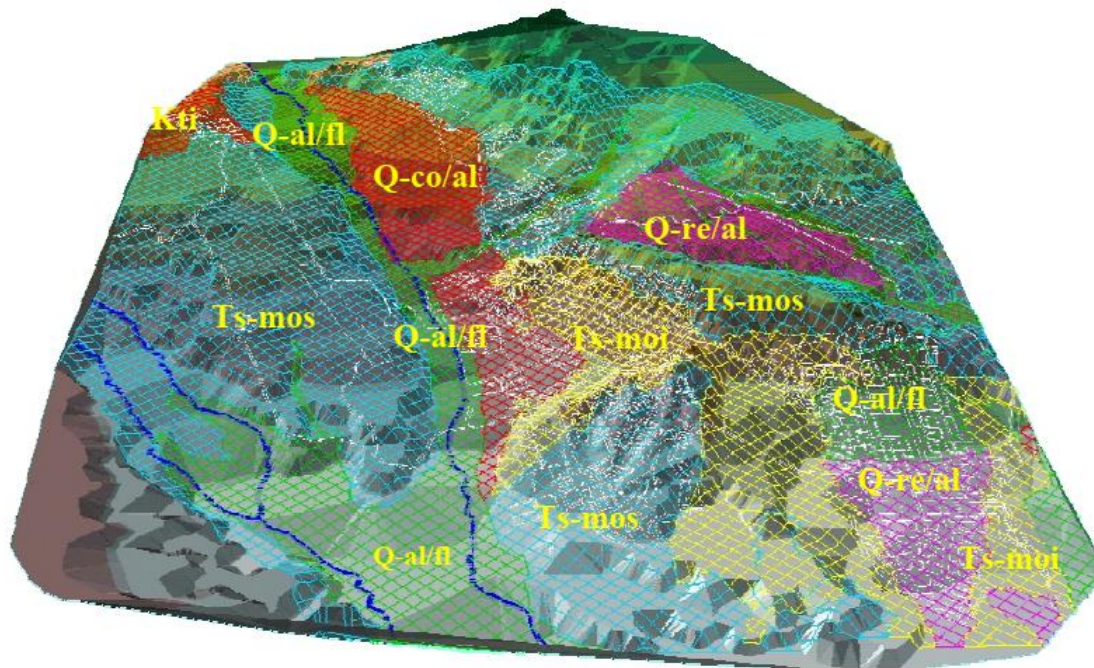
*Nota.* Adaptado de “Ingeniería de carreteras”, por Kraemer et al., 2017.

La provincia de Moquegua se encuentra en el suroeste del país. Abarca parte de la costa sur del Perú y la parte más cercana al pacífico de la cadena montañosa conocida como los andes. Comprende dos zonas: la costa y la sierra. Debido a la textura del volcán, ubicado entre Omate y Ubinas, su relieve es bastante accidentado. Geológicamente, la zona de estudio se encuentra en la parte suroeste de la Cordillera de los Andes y a una altitud promedio de 2200 m.s.n.m. Esta área se encuentra específicamente entre las laderas de los Andes y la planicie costera, la primera área compuesta por rocas volcánicas del Cretácico Superior y

Terciario, conocidas como Grupo Toquepala. La segunda está compuesta por rocas sedimentarias del terciario superior denominadas Formación Moquegua.

## Figura 2

### *Geología superficial de Moquegua*



Kti : Formación Toquepala.

Ts-moi : Formación Moquegua inferior.

Ts-mos : Formación Moquegua superior.

Q-co/al: Cuaternario coluvial/aluvial reciente.

Q-al/fl : Cuaternario aluvial/fluvial reciente.

Q-re/al : Cuaternario residual/aluvial.

*Nota.* Adaptado de “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua”, por Castro et al., 2003.

En los últimos años, en el distrito de san Antonio de la ciudad de Moquegua se ha vivido un crecimiento poblacional considerable y esto ha motivado la creación nuevos

asentamientos humanos con la necesidad de proyectos que garanticen su calidad de vida y progreso. Esto sucede con la creación de nuevas calles y avenidas como la Avenida Santa Fortunata en la asociación de viviendas Tiwinza, donde particularmente se ha observado que su suelo base es un suelo blando, un suelo categorizado como arcillas expansivas. Por su propia composición y características, es un suelo muy malo para la construcción de cualquier proyecto de infraestructura. En el caso de la infraestructura vial, las arcillas expansivas pueden provocar cambios volumétricos en la subrasante, ocasionando así daños patológicos de estructura del pavimento. Para evitar esto, es necesario proponer una forma de estabilizar los suelos y garantizar que las propiedades físicas y las propiedades mecánicas cumplan con los criterios para el buen diseño y comportamiento de la infraestructura vial.

## **1.2 Formulación del Problema**

Bajo la descripción de esta problemática, se plantea realizar la investigación denominada *Estabilización de suelos con cenizas volantes para pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021*. Se tiene:

### **1.2.1 Problema Principal**

¿Cómo influye el uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

¿Cuáles son las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua2, 021?

¿Cuáles son las características físico-mecánicas de las cenizas volantes que influyen en la estabilización de suelos?

¿Cuáles son las características físico-mecánicas del suelo con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 10 %, 15 % y 20 %?

¿Qué evidencia realizar una comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes?

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo Principal***

Realizar el estudio experimental para determinar la influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua 2021.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

Determinar las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua 2021.

Identificar las características físico-mecánicas de las cenizas volantes que influyen en la estabilización de suelos.

Determinar las características físico-mecánicas del suelo con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 10 %, 15 % y 20 %.

Realizar una comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes.

### **1.4 Justificación e Importancia de la Investigación**

#### ***1.4.1 Justificación de la Investigación***

Bajo el criterio técnico, la presente investigación denominada *Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua 2021* estará sujeta a las especificaciones técnicas, los parámetros, indicaciones y criterios que establece la Norma Técnica Peruana, y las normas específicas del área de construcción de proyectos de infraestructura vial. Los resultados que se pretenden obtener en el estudio estarán fundamentados en los EMS de la

estabilización del suelo de la subrasante en la Av. Santa Fortunata, asociación de viviendas Tiwinza, distrito de San Antonio, Moquegua.

#### ***1.4.2 Importancia de la Investigación***

La importancia radica principalmente en la aplicación del Reglamento Nacional de Edificación (RNE) y la Norma Técnica Peruana (NTP) para realizar la estabilización de suelos mediante cenizas volantes; de esta manera, se establece un precedente para el uso de materiales adicionales, o materiales específicos para la estabilización de suelos.

Adicionalmente, se pretende establecer antecedentes de investigación para el mejoramiento de los terrenos con materiales predominantemente locales, y así proporcionar alternativas para la optimización de las características del terreno, a nivel físico y mecánico, que sirva como base para las principales obras viales de la zona.

### **1.5 Hipótesis de Investigación**

#### ***1.5.1 Hipótesis General***

La incorporación de cenizas volantes en la muestra de estudio mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.

#### ***1.5.2 Hipótesis Específicas***

Las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021, están por debajo de los parámetros mínimos exigidos por la norma para pavimentos urbanos.

Las características físico-mecánicas de las cenizas volantes tienen valores significativos para su uso como agente estabilizador de suelos.

Las características físico-mecánicas del suelo mejoraron significativamente con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 5 %, 10 % y 20 %.



Al realizar la comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes, se puede identificar un suelo con propiedades para la construcción de pavimentos urbanos.

## **1.6 Variables y Operacionalización**

### ***1.6.1 Variable Independiente***

Cenizas volantes.

### ***1.6.2 Variable Dependiente***

Estabilización de suelos.

### 1.6.3 Operacionalización de las Variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

Estabilización de suelos con cenizas volantes para pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente:</b> Cenizas volantes	Las cenizas volantes son un subproducto de la quema de carbón pulverizado en centrales eléctricas y son aglutinantes.	Las cenizas volantes conforman uno de los aditivos activos que se utilizan en la producción de cemento y hormigón, también conocido como cenizas de combustible pulverizadas.	Dosificación	MS+10%CV	Nominal
				MS+15%CV	Nominal
				MS+20%CV	Nominal
<b>Variable dependiente:</b> Estabilización de suelos	La estabilidad de suelos consiste en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de suelo a partir de la aplicación de métodos químicos o físicos, con la intención de lograr los valores requeridos.	Controlar la estabilidad del volumen del suelo aumenta la resistencia al estrés y el módulo, mejora la permeabilidad y resistencia del suelo, y reduce la sensibilidad al agua	EMS cenizas volantes  EMS del suelo en estado natural  EMS de las muestras dosificadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Límite líquido</li> <li>● Límite plástico</li> <li>● Índice de plasticidad</li> <li>● Tipo de suelo</li> <li>● Humedad</li> <li>● Densidad</li> <li>● Capacidad de carga</li> <li>● CBR</li> </ul>	Ordinal

*Nota.* Elaboración propia.

## Capítulo II: Marco Teórico de la Investigación

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Alarcón et al. (2020) encontraron que los estudios de estabilización de suelos reemplazan los materiales típicos utilizados en las capas granulares y/o mejoran la subestructura de la infraestructura de pavimento como una alternativa a la construcción de carreteras, al mismo tiempo que se optimiza la utilización de los residuos de la producción de petróleo hacia el entorno, emergiendo como una forma de mitigar los efectos negativos. Se utilizó suelo de la región de Tunja. Cada mezcla fue caracterizada y posteriormente mezclada con diferentes proporciones de lodos de petróleo en materiales granulares y subsuelos francos para determinar las propiedades y analizar posibles comportamientos en campo como CBR y módulo de plasticidad. Sobre estos se han realizado diversos ensayos. Se encontró que bajo la incorporación del 6 % de lodo se obtienen más eficientes resultados en comparación con las características de resistencia y plasticidad del terreno y 4 % para la subrasante.

Rivera et al. (2020) realizaron una investigación a partir del creciente interés en desarrollar alternativas al uso masivo de materiales tradicionales a base de cemento en aplicaciones de geoingeniería como el cemento y la cal. Ello se debe, en gran medida, a los desafíos ambientales y los costos asociados con este tipo de aplicación. El cemento alcalino ha demostrado ser una de las alternativas más sostenibles, especialmente por su bajo consumo energético y teóricamente bajas emisiones de dióxido de carbono en la producción. Además, se tiene la oportunidad de utilizar desechos industriales y otros productos como materia prima para su producción. Este artículo proporciona una descripción general de los diversos materiales comúnmente utilizados en la preparación química del suelo, el uso de cemento

tratado con álcali, su viabilidad técnica, impacto ambiental y una revisión de la literatura pública sobre estos temas.

Cabezas y Cerrato (2019) realizaron una investigación titulada *Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera)*. Tuvo por objetivos la evaluación de la resistencia al corte en suelos densos con coco agregado (palma de coco, vincapervinca) en comparación con suelos primarios similares. Se obtuvo las siguientes conclusiones: se consideró que el suelo era un material calcáreo poco dúctil, con un 98,31 % pasando a través del tamiz de 2 mm (# 10) en masa y 8,8 pasando por el tamiz de 75 µm en masa (# 200). Esto indica que el uso del material no es óptimo porque no respeta el porcentaje máximo indicado por la norma INVIAS. Al momento de la caracterización del suelo, este no cumple con los requisitos exigidos por el INVIAS. El límite de liquidez excede el 0 % y el índice de plasticidad excede el 15 %.

Estos máximos son el tipo de suelo óptimo estándar recomendado. Al caracterizar el suelo, se muestra que tener un CBR de 2.2 % no corresponde al valor normal para un uso óptimo de la tierra. Con una clasificación de sistema unificada, el suelo puede formar parte de una subclase de grado normal. La adición de coco al suelo no cumplió con los requisitos de la norma INVIAS para uso de suelo, con una tasa mínima del 5 %, pero un aumento total del 3 %. Usando pruebas de laboratorio y usando suplementos de coco (coco, cocos nucifera), se puede demostrar que la mezcla gana resistencia y las fibras llenan los huecos y causan un levantamiento del suelo. Índice de fuerza de la mezcla. Cuando se evaluaron los resultados de la prueba con la adición de 1 %, se encontró que el comportamiento del suelo cuando se agregaron las fibras mejoró la capacidad portante del material y mejoró las condiciones iniciales. Así, se muestra la posibilidad de utilizar una mezcla de coco para mejorar este tipo de suelo.

Cañar (2017), en su investigación titulada *El Análisis comparativo de resistencia al corte y estabilidad de arena fina y arcilla, así como ceniza de carbón*, tuvo como objetivo evaluar el efecto de la resistencia al corte entre arena y arcilla y la estabilidad mecánica de la arena y la arcilla a la ceniza de carbón para conocer las perfectas condiciones para su uso. La conclusión del análisis es la siguiente: la adición de ceniza de carbón tiene un efecto positivo en los suelos hinchados como la arcilla al formar partículas de arcilla y aumentar el grado de asentamiento, mejorando así la CBR y la resistencia al corte. El uso de cenizas de carbón mejora las propiedades físicas de la arcilla y la arena, reduce la humedad del suelo y promueve la formación de suelos arenosos que requieren una gran proporción de carbón.

En la investigación desarrollada por Hernández et l. (2016), titulada *Una propuesta para estabilizar suelo arcilloso para su uso en caminos duros en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador*, se tuvo por objetivo analizar la mejora de las propiedades de las arcillas utilizando cal como estabilizante como base para suelos rígidos. Las conclusiones muestran que los suelos naturales analizados en este estudio se consideran no aptos para su uso como sustratos para pavimentos duros, los cuales están relacionados con la clasificación de suelos y sus valores, establecidos por el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos SIECA. California CBR Support considera que los valores inferiores a 10 CBR son de mala calidad, en cuyo caso se obtuvo un valor CBR de 1,93. Se han realizado esfuerzos para aumentar la capacidad reproductiva de CBR agregando cal al suelo natural para llenar la fracción requerida para su uso como material semiacabado. Esto requiere agregar cinco calorías al suelo en su estado natural. Esto aumentará su valor de patrocínio del 1,93 % al 5,00 %. Por lo tanto, se confirma que la propiedad con nivel cinco de suelo calcáreo se considera como parte del subsuelo de seco. La adición de cal reduce el índice plástico en un 5 % y el hinchamiento en un 88 % debido a una colada irregular. La

elección del estabilizador depende de la compatibilidad con los límites de granulación de un suelo en particular.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Como referencia en el ámbito nacional se pudo encontrar los siguientes proyectos:

López (2021), en su tesis titulada *Estabilización de suelos con ceniza de arroz para mejorar la calidad del suelo en la Aldea de Moyobamba, Departamento de San Martín*, se

trazó el objetivo de describir las propiedades naturales de la arcilla en su estado natural.

Determinación del índice de plasticidad de suelos arcillosos con incrementos de 5 %, 10 % y

15 % de cascarilla de arroz en ensayo límite de Atterberg. Se aceptan resoluciones. El efecto

de agregar ceniza y cascarilla de arroz al índice plástico aumenta, lo que puede ser

confirmado por los siguientes resultados. Suelo natural IZ 23.8 %, extracción de 5 % 26.5 %,

10 % 26.73 % y, finalmente, 15 % de ceniza de cáscara de arroz es 26.75 %. Esto se debe al

aumento del contenido de humedad en el límite de densidad. Los resultados mostraron que a

medida que aumentaba la introducción de ceniza de arroz, la tasa máxima de secado

disminuía y el contenido máximo de humedad aumentaba de acuerdo con la propiedad de

presión. Una prueba CBR a una temperatura de secado alta de 95 °C mostró lo siguiente

cuando se mezcló ceniza de arroz con una muestra de suelo: en suelo natural CBR es 3.96 %,

5°C 6.90 %, 10A tiene 9.60°R y 15% de mezcla de corteza y 10.5°C CBR, por lo que 15 % de

mezcla es lo mejor.

Neyra (2020), es su tesis titulada *Efecto de la ceniza de caña de azúcar mezclada en suelo arenoso*, consideró que la ceniza contenía mucha materia orgánica y suficiente sílice

para mostrar puzolana. La adición de cenizas al suelo arenoso reduce la cantidad de materia

seca debido a la mayor relación de densidad en comparación con el suelo natural. La adición

de cenizas aumenta la cantidad de agua necesaria para el proceso debido a la gran superficie

de las partículas. Conclusión: la ceniza de caña de azúcar vertida desde Caña Brava en la

provincia de Piura no debe usarse en áreas arenosas, ya que reduce significativamente el valor de CBR.

Terrones (2018), en su proyecto de investigación titulado *Estabilización de suelos mediante adición de ceniza de saco de caña de azúcar para mejorar las condiciones del suelo en el sector Barrasa, Trujillo - 2018*, se trazó el objetivo de encontrar el efecto de la adición de ceniza de bagazo al 5 %, 10 % y 15 litros de peso seco del suelo sobre la estabilidad del suelo en la zona de Barrasa, Trujillo, 2018. El suelo fue clasificado como suelo bajo plástico (CL) y suelo bajo plástico (ML) según el grupo SUCS en la sección AASHTO. A partir de los resultados de las pruebas de límite elástico, se identificaron los principales grupos de suelo A, A6 y A76, el límite de plástico e índice plástico, respectivamente. Se puede obtener el índice agrupado. Esto asegura que la plasticidad del área sea moderada. Sin embargo, según el análisis de humedad, la humedad varía entre 15,8 y 33,67, con una humedad promedio de 25,7 de cinco hoyos y figuras. Una simple medición de presión no controlada muestra que la máxima resistencia a la compresión del modelo de referencia es del orden de 13,76 kPa. 13,96 kPa. Con la adición de cinco CBCA, mostró una alta resistencia a la compresión de 33,62 kPa. es 33,8 kPa. Con un aumento de 10° CBCA, la resistencia máxima a la compresión es de 77,91 kPa. es 80.11 kPa.

En su investigación titulada *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante*, Castro (2017) tuvo como objetivos usar ceniza de cáscara de arroz como base de pavimento para determinar si se puede usar como estabilizador de arcilla. Las conclusiones muestran que la combinación de las dos propuestas aumenta el valor de CBR, pero la combinación de arcilla, ceniza de cáscara de arroz y cal da un valor de capacidad de carga más alto y aumenta el valor de CBR a 100. La densidad seca máxima de Proctor ha aumentado del 5 % al 38,5 %, que es uno multiplicado por seis. Este incremento se obtiene cuando el contenido de cenizas de la cascarilla es del 20 %. La

combinación propuesta de estos dos componentes aumenta la presión sin límite. El suelo mezclado con ceniza de arroz y cal aumentó de 6,91 kg/cm<sup>2</sup> a 9,96 kg/cm<sup>2</sup> cuando se mezcló con ceniza de arroz y cal, y 6,91 kg/cm<sup>2</sup> con suelo mezclado con ceniza de arroz. Este método de estabilización del suelo aumenta sus beneficios en zonas donde el suelo no contiene sílice activa y no es suficiente un simple tratamiento con cal.

El propósito del estudio de Quezada (2017) es investigar el comportamiento de un suelo arcilloso reforzado con una capa de abanico. Este estudio compara el uso de pieles de ornitorrinco y conchas de abanico como materiales de estabilización en suelos arcillosos, variando la distribución de tamaños. Se utilizaron tamaños de partículas de 4,75 mm a 0,075 mm. Además de la muestra de arcilla, las concentraciones de los dos tipos fueron diferentes (20 %, 40 %, 60 % y 80 %) para hacer cuatro mezclas. Las propiedades físicas y electrónicas del compuesto se analizaron mediante experimentos realizados en el laboratorio de la Universidad de Piura. Los resultados muestran que las conchas de pato son menos efectivas que las conchas de abanico en la estabilización de suelos arcillosos. Ambos tipos de residuos triturados pueden estabilizar el suelo, pero no alcanzan la capacidad de utilizar este suelo como material de suelo.

Phantachang et al. (2019), realizaron una investigación para analizar la mejora en la capacidad de la subrasante y la resistencia a la cizalladura de arena bien graduada con la capa del suelo en la parte superior, y la colocación de geotextiles se realizaron a diferentes profundidades en L/2, 3L/4 y L/4. Se realizan pruebas de laboratorio en muestras de suelo compactado no forzadas y reforzadas. Los dos tipos de muestras de arena plateada se recogieron del proyecto de construcción de carreteras (carretera nacional 118, Chiang Mai en la provincia de Chiang Rai). Las pruebas de laboratorio incluyen propiedades básicas y de ingeniería. Se llevan a cabo pruebas de relación de cojinete de California (CBR) empapadas y no empapadas y pruebas de compresión (UCS). Los resultados demostraron que la capacidad



de carga aumenta significativamente con el refuerzo geotextil. A partir de los resultados de las pruebas de CBR, el CBR no fabricado para muestras no forzadas es del 5,13 % y el valor de CBR aumenta en muestras de suelo reforzado geotextil en un 27 %, 30 % y 27 % (Suelo 1), y el CBR no cosechado del suelo 2 es del 12,00 %, que aumentan en un 27 %, 77 % y 67 %, respectivamente. Por lo tanto, el rendimiento del suelo en CBR puede ser mejorado usando geotextil reforzado. Este trabajo de investigación puede ser útil para plantear el aumento de la capacidad de resistencia del suelo para el diseño del pavimento y cimentación, y para un tipo similar de suelo disponible.

Farooq y Mir (2021) muestran en su artículo los resultados de las pruebas para evaluar el efecto del uso de polvo de caucho residual no biodegradable en suelos blandos como aditivo. El comportamiento del suelo ha sido caracterizado por CBR, ya que la intención es utilizar el suelo *in situ* después de la inclusión del material de caucho residual en subrasantes de carretera para que se elimine la necesidad de transportar un buen suelo de canteras de préstamo. Esto redundará en beneficios económicos y ambientales. Una serie de estudios de CBR se llevaron a cabo en el suelo utilizando la inclusión de material de desecho no biodegradable. Los residuos no biodegradables de caucho en polvo se añaden al suelo en diferentes porcentajes: 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %, 8 % y 10 % del peso seco del suelo. El programa experimental realizado consiste en investigar el efecto del material de desecho no biodegradable sobre los valores de CBR de la gradación del suelo. Los resultados obtenidos mostraron que la inclusión de material de desecho no biodegradable mejoró las propiedades de CBR del suelo. El valor óptimo del polvo de caucho que se puede añadir al suelo se descubre que es el 7 % del peso seco del suelo. El aumento adicional de la potencia de caucho después del 7 % dio lugar a una disminución del valor del CBR.

Para Majumder y Venkatraman (2021) el rendimiento del pavimento se atribuye en gran medida a la calidad de la capa base y subbase. Las características de contracción e hinchazón de los suelos BC son el mayor desafío para cualquier proyecto de construcción de carreteras. Diferentes investigadores en los últimos años han intentado estabilizar el suelo usando diferentes materiales como cal, ceniza, mezcla de polvo de ladrillo, etc. En el presente estudio se ha intentado investigar el uso de cal hidratada para cumplir con el criterio de la CDB establecido por el Ministerio de Transporte por Carretera y Carreteras del Gobierno de la India. El suelo BC recolectado de los diferentes sitios de la región de Maharashtra ha sido probado para la idoneidad como material estabilizador del suelo. Se encontró que no es adecuado, ya que tiene un valor muy bajo de CBR, así como alta plasticidad. Para mejorar, se ha añadido cal para examinar la resistencia y el criterio de deformación del material subgradual del pavimento flexible. La modificación en el diseño de pavimento flexible debido al uso de la subrasante tratado con cal se ha estudiado con el uso de software IIT Pave. El espesor de la capa estabilizada de subbase se ha diseñado según las diferentes dosis de cal para diferentes valores de CBR.

## **2.2 Bases Teóricas**

### ***2.2.2 Estabilización de la Subrasante***

**2.2.2.1 Estabilización de Suelos.** Los suelos representan el material fundamental que forman base de los proyectos de Ingeniería Civil, las edificaciones, puentes, aeropuertos, centrales hidroeléctricas, los proyectos de infraestructura vial, etc. Siempre tienen como base de fundación y soporte a los suelos, por lo cual estos constituyen un material de construcción de primera línea en cualquier tipo de infraestructura. En el caso específico de los proyectos viales, los suelos son fundamentales, ya que por criterios económicos o de programación, en un proyecto de infraestructura vial es casi obligatorio utilizar el suelo base de la zona donde se constituirá el proyecto, provocando que muchas veces este suelo no cuente con las

características mecánicas necesarias o mínimas exigidas por el reglamento para servir como base de los pavimentos. Muchas veces la plasticidad, la capacidad de carga, la cohesión, el ángulo de fricción o el CBR no son los adecuados para construir este tipo de proyectos, porque surge la necesidad de aplicar procedimientos adicionales que ayuden a mejorar su calidad. El proceso de la adición de partículas que ayuden a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo se le denomina estabilización.

En la Figura 2 se muestra el proceso de estabilización de suelos de la subrasante con fines de pavimentación en un proyecto de infraestructura vial.

### **Figura 3**

*Estabilización de suelos con en infraestructura vial*



*Nota.* De “Manual de estabilización de suelos con cemento o cal”, por Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008.

#### **2.2.3 Métodos de Estabilización de Suelos**

**2.2.3.1 Estabilización de Suelos por Métodos Químicos.** Los métodos químicos para el mejoramiento de suelos se basan en la adición y combinación de suelo en estado natural con productos o materiales químicos, con el objetivo de alterar sus propiedades

fisicoquímicas, generalmente a través de una reacción físico-química o de la generación de una matriz que junte las partículas del suelo.

En el artículo científico titulado *La estabilidad química de suelos y materiales comunes activados por álcalis (revisión)*, de Rivera et al. (2020), afirmó que la estabilidad química del suelo es un recurso por el que se puede optar, indiferente del tipo de suelo, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del terreno en respuesta a problemas de inestabilidad o para abordar otros problemas, como requisitos de resistencia y durabilidad.

Dentro de los métodos químicos para el mejoramiento de suelos se conocen los siguientes:

- Estabilización con cemento Portland.
- Mejoramiento de terreno con cal.
- Mejoramiento de terreno utilizando cenizas volantes.
- Mejoramiento de terreno utilizando escorias siderúrgicas de alto horno.
- Estabilización de suelos utilizando sales.

En la Tabla 2 se presenta una relación entre la clasificación y las propiedades de diferentes mezclas de cemento para la estabilización.

**Tabla 3***Clasificación y propiedades de diferentes mezclas de suelo/cemento*

<b>Clasificación</b>	<b>Materiales</b>	<b>Cantidad de cemento (%w)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Usos</b>
Suelo cemento	Suelos finos o granulares y cemento	3-7	>4MPa Compresión	Subbases
Suelo modificado con cemento	Suelos finos o plásticos con excesiva humedad y cemento	Máximo 2 %	Incrementa CBR y disminuye la plasticidad	Subrasantes o explanadas
Suelo estabilizado con cemento	Suelos con fracción granular elevada y cemento	Mínimo 2 %	Incrementa rigidez y resistencia mecánica	Subrasantes o explanadas
Suelo cemento plástico	Suelo, cemento y aditivos	-	3-8.5 MPa Compresión	Bases para pavimentos
Base granular tratada con cemento	Agregados y cemento	3- 13 %	3-6 MPa Compresión 7.000-14.000MPa Módulo de elasticidad	Capa de base para pavimentos
Pavimento unicapa de alto desempeño	Suelo existente en la obra y cemento	11-20 %	5-13 MPa Compresión 10.000-20.000 MPa Modulo de elasticidad	Capa de base o capa de rodadura de pavimentos

*Nota.* De “Manual de estabilización de suelos con cemento o cal”, por Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008.

**2.2.3.2 Estabilización de Suelos por Métodos Físicos.** La estabilización de suelos por medios físicos implica el uso de herramientas o equipos externos para cambiar las propiedades del suelo. En la mayoría de los casos, los métodos físicos incluyen el uso de maquinaria para cambiar las propiedades del suelo, como las propiedades de mezcla. El objetivo principal de cambiar la estructura del suelo es reducir la resistencia de los cimientos y reducir la escala, y reducir el porcentaje de vacíos para lograr un grado más elevado de permeabilidad en el suelo.

En la Figura 3 se muestra un compactador vibratorio de rodillo, y una maquinaria mecánica para la compactación y estabilización del suelo por métodos físicos.

#### **Figura 4**

*Compactador vibratorio de rodillo liso para estabilización física del suelo*



*Nota.* De “Manual de estabilización de suelos con cemento o cal”, por Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2008.

#### **2.2.4 Propiedades de Estabilización**

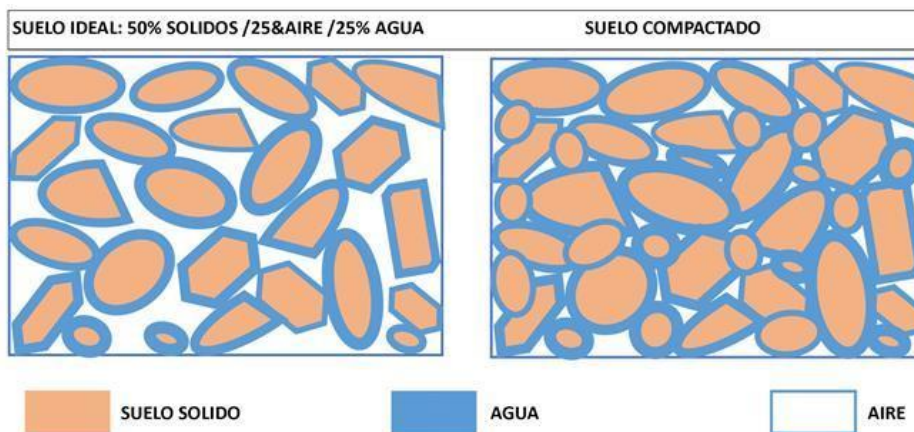
**2.2.4.1 Estabilidad Volumétrica.** Una de las características principales del suelo que se requiere modificar o lograr es la estabilidad volumétrica. Las condiciones climáticas hacen que en la mayoría de lugares la precipitación sea común en cualquier lugar. El cambio de

humedad en los suelos provoca que las partículas, como lo son las arcillas u otros, sufran estados de expansión o contracción. Estos estados pueden presentarse de manera más común en forma natural, también debido a los cambios estacionales de clima o por las actividades en los proyectos de ingeniería.

En la Figura 4 se muestra una representación gráfica de la distribución de partículas en una muestra de suelo al natural y el suelo compactado.

### Figura 5

#### *Compactación volumétrica de suelos*



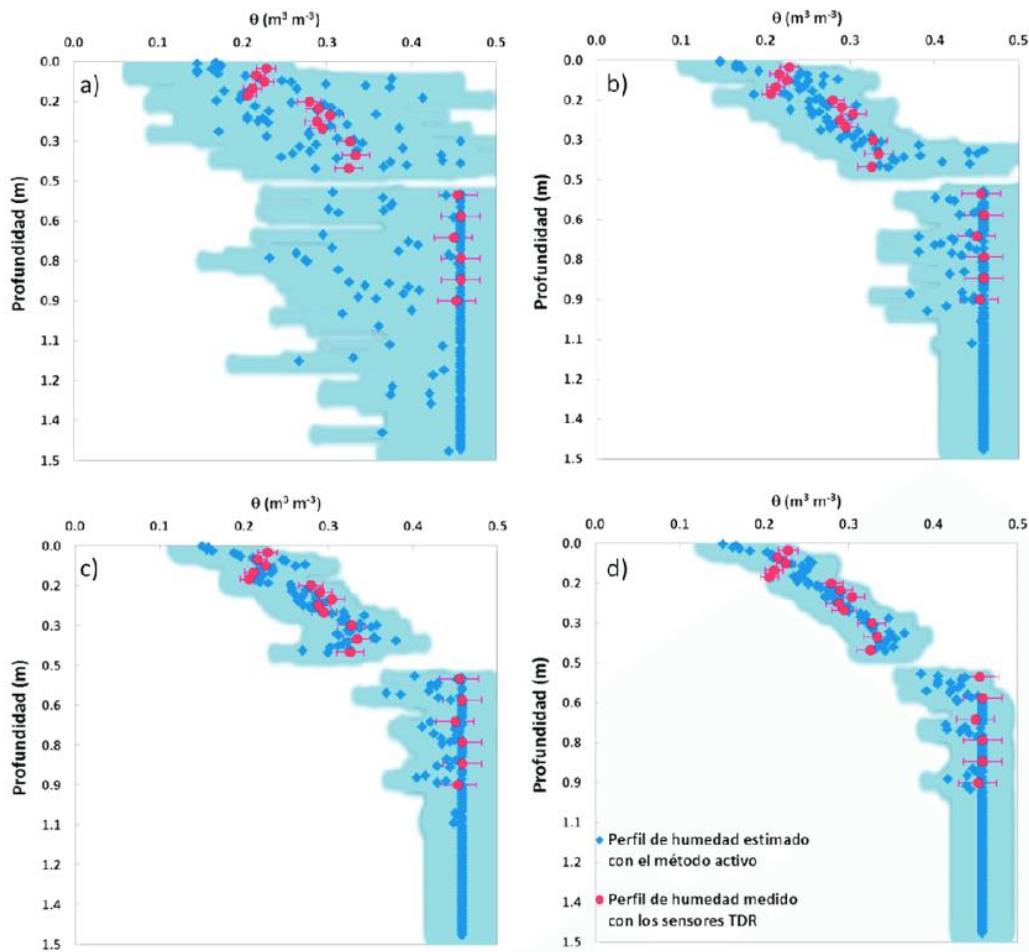
*Nota.* De “Ingeniería de Pavimentos, Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño”, por Sánchez, 2002.

**2.2.4.2 Resistencia de los Suelos.** Los suelos tienen la capacidad de resistir a esfuerzos de corte y compresión. Esta capacidad de resistencia varía dependiendo de las características de los distintos tipos de suelo. Además, dependiendo de las condiciones externas de los mismos, las arcillas, por ejemplo, son suelos que adquieren una resistencia muy elevada en un estado seco; pero en estado húmedo esta resistencia se reduce con mucha facilidad y mucho más si el contenido de humedad es más elevado.

**2.2.4.3 Permeabilidad de Suelos.** La permeabilidad del suelo es la capacidad del suelo para conducir agua y aire, y es una de las cosas más importantes a considerar cuando se estudia. Cuanto más absorbente es el suelo, más filtra. Algunos suelos son muy permeables, y la permeabilidad es tan grande que se requieren técnicas especiales para cualquier tipo de construcción. Los suelos a menudo se componen de muchas capas, y la calidad del suelo a menudo varía mucho de una capa a otra. Antes de construir cualquier tipo de edificio o proyecto, es importante encontrar la ubicación correcta de las partes disponibles y no disponibles. Al pavimentar caminos, se debe buscar que el subsuelo absorba o filtre el exceso de agua al subsuelo por infiltración.

En la Figura 5 es posible determinar la profundidad y el volumen de humedad que ingresa al suelo. Los perfiles de humedad se estiman con pulsos de calor de diferente duración: a) 2 min; b) 5 minutos; c) 10 minutos; y d) 20 minutos. El área resaltada (en azul) corresponde al error que se puede obtener al estimar con D $\theta$ S.



**Figura 6***Infiltración de humedad en suelos*

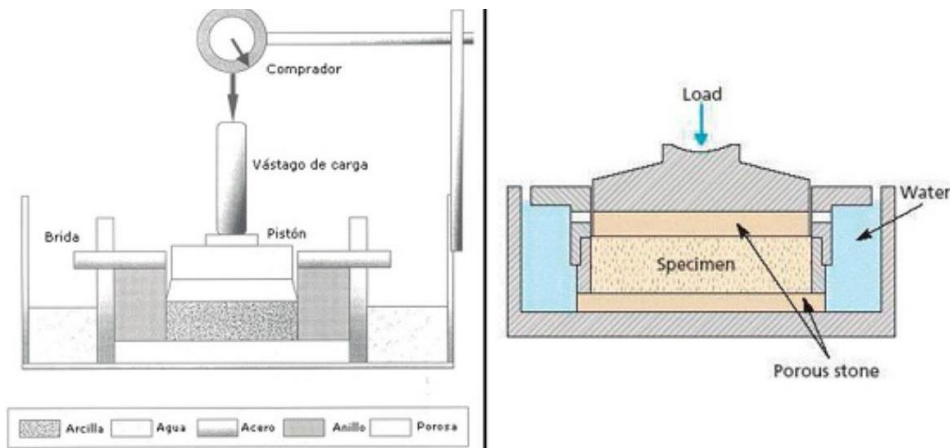
*Nota.* De “Evaluación del método activo para determinar contenidos de humedad en suelos”, por Serna et al., 2017.

**2.2.4.4 Compresibilidad de los Suelos.** Es la relación de compresión tal para que el volumen de la masa del suelo disminuya bajo la acción de la carga. Se minimiza en suelos de textura gruesa expuestos a partículas y aumenta con la cantidad de partículas chicas o pequeñas en suelos con aglomeración de finos que contienen partículas orgánicas.

En la Figura 6 se muestra el esquema de un edómetro, instrumento que se utiliza para determinar la compresibilidad de los suelos.

## Figura 7

### Compresibilidad de los suelos



Nota. De “Compresibilidad de Suelos. Teoría de la Consolidación”, por Universidad Europea De Madrid, 2015.

**2.2.4.5 Durabilidad de los Suelos.** Algunos suelos están expuestos a temperaturas muy bajas, se congelan y descongelan muchas veces y pierden la mayor parte de su resiliencia. La arcilla suele sufrir este tipo de daños. Durante la fase de congelación, estos suelos pueden provocar la formación de lentes de suelo y lograr un crecimiento significativo hasta llegar a una deformación sorprendente del pavimento. Para que este tipo prospere, se necesitan tres fuentes: suelo sensible, bajas temperaturas y una fuente de agua subterránea que proporcione una lente para el suelo. Se debe tener en cuenta la infiltración de nieve durante el invierno (dependiendo de la latitud) y el número de ciclos de congelación-descongelación.

En la Figura 7 se observa un suelo arcillo en estado de congelación, lo que posteriormente afectará en su durabilidad.

## Figura 8

### *Durabilidad de los suelos*



*Nota.* De “Ingeniería de Pavimentos, Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño”, por Sánchez, 2002.

### **2.2.5 Cenizas Volantes**

Las cenizas volantes son residuos de la combustión de carbón pulverizado, o también los residuos de partículas finas producto del procesamiento de agregados, piedra o roca, que se recolectan mediante separadores de escape mecánicos. Representan alrededor del 75 % del total de cenizas producidas. Las propiedades y la composición de las cenizas volantes varían considerablemente, no solo entre diferentes plantas, sino también cada hora dentro de la misma planta. Su composición depende del tipo de roca o material procesado. Las cenizas volantes de una cantera de trituración son relativamente gruesas y contienen una gran proporción de material propio de las rocas o piedra chancada, mientras que las cenizas volantes de una fábrica de procesamiento de material son relativamente finas y tienen una superficie específica de unos 3500 cm<sup>2</sup>/g y pueden alcanzar los 5000 cm<sup>2</sup>/g. Son generalmente más finas que el cemento Portland. Las cenizas volantes generalmente consisten en partículas esféricas, algunas de las cuales pueden parecer vidrio, combustible no quemado o partículas de carbono de forma irregular.

### ***2.2.6 Propiedades de Una Buena Ceniza Volante***

El carbono de las cenizas volantes es una consideración importante cuando se usa cemento. Debe ser lo más bajo posible. La humedad de las cenizas volantes debe ser lo más alta posible. La sílice de las cenizas volantes debe descomponerse porque se mezcla lentamente durante un largo periodo de tiempo con la cal liberada cuando el cemento está húmedo. Se ha demostrado que el curado a 38 °C aumenta su contribución a la resistencia del hormigón. El vapor a alta presión y temperatura promueve la reacción entre la cal liberada durante la hidratación del cemento y la sílice en las cenizas volantes. Sin embargo, este proceso a menudo evita la liberación de cal libre para reducir la eficiencia. Las cenizas volantes se ofrecen en dos formas: nivel I y nivel II.

### ***2.2.7 Características de las Cenizas Volantes***

El uso de cenizas volantes como material de adición de cemento (SCM) es deseable si tienen propiedades fisicoquímicas como las ya mencionadas, que les permitan participar en la reacción de hidratación, podría ser en relación al cemento portland o, como en este caso, directamente con el suelo. El origen de su reactividad proviene de las siguientes características:

- Finura: para desarrollar su potencial aglutinante deben provenir de la pulverización de materiales con un alto grado de adherencia de finos; como, por ejemplo, de la trituración en canteras de piedra chancada, para que su textura de grano continúe, cercana a la finura de la actividad. Tiene bastante similitud con el cemento. Si se utilizan como espesantes, deben ser más delgados que el cemento para rellenar los huecos microscópicos. La norma ASTM C618 especifica que se retenga un máximo del 34 % en una malla de 45 micras (# 325).

Para medir el desempeño de la ceniza, la norma ASTM C618 recomienda elegir el índice de desempeño, determinado por pruebas comparativas de resistencia, de una solución

estándar de referencia a 100° y otra solución a 20°. Esta cantidad se considerará aceptable si la concentración de la solución de cenizas es mayor o igual a 75 µl de la solución de referencia, después de 7 y 28 días.

Debido a la reactividad, las cenizas volantes pueden reemplazar a otros cementos portland esperados en la mezcla sin afectar la resistencia y la reparación de la propiedad. Existen otros factores como el rendimiento, el calor para promover la hidratación y las propiedades de estabilidad activa, entre otros.

### ***2.2.8 Requisito Indispensable para el Uso de Cenizas Volantes como SCM***

En las cenizas que se manipulan, transportan, almacenan y aíslan adecuadamente de la humedad, su principal contaminante es el carbón sin quemar (sin quemar) debido a una combustión ineficiente inherente. Para estimar, la prueba de pérdida por ignición (PPI) realizada según ASTM C114, cuando es alta, su desempeño como SCM en concreto puede degradarse. Teniendo en cuenta la importancia de la limpieza de las cenizas en términos de PPI bajo, ASTM C618 especifican un máximo del 6 %. Para cenizas de clase F hasta un 12 % es aceptable si el desempeño aceptable del concreto se demuestra mediante pruebas de laboratorio.

Ceniza utilizada en hormigón: el más utilizado tiene un PPI que varía entre el 5 % y el 12 %. Algunas fuentes emiten una gran cantidad de cenizas, pero no se pueden reutilizar debido al alto contenido de carbón sin quemar. Esto se ha mejorado optimizando los procesos de combustión con un incentivo para evitar la descarga de cenizas en patios y/o rellenos sanitarios para tal fin, constituyendo una responsabilidad ambiental con un costo alto de mantenimiento y riesgo potencial de desborde o molestias a las comunidades aledañas.

### 2.2.9 Optimización de Propiedades de las Cenizas Volantes

Para poder utilizar cenizas con propiedades que no cumplan con los requisitos especificados, se deben seguir ciertos métodos de tratamiento como los que se describen a continuación:

Reducción de tamaño: se trata de encontrar el grado de finura para lograr la mayor reactividad posible con procesos de trituración que requieren grandes inversiones iniciales y altos requerimientos energéticos. También es posible introducir el material en un proceso de clasificación para eliminar las partículas más gruesas, dadas las necesidades de gestión de residuos que ello conlleva.

En la Figura 8 se muestra los beneficios obtenidos por el aumento de la finura de la ceniza molida.

#### Figura 9

*Incremento del índice de actividad por molienda de ceniza*



*Nota.* De “Importancia de las Cenizas Volantes en la producción de Concreto”, por Arbeláez, 2019.

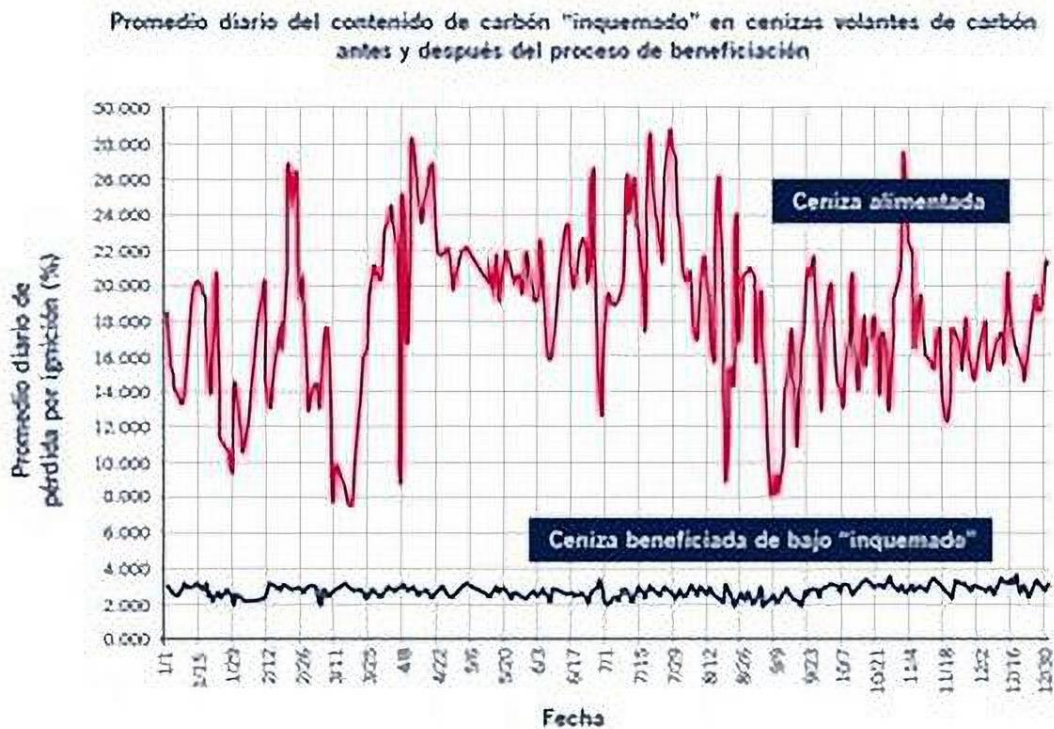
- Componente gravimétrico: basado en la gran diferencia (más del 15 %) entre la masa de carbón sin quemar y los minerales de ceniza. Es posible seguir un método seco con un separador pluvial que requiere una inversión inicial, o un método húmedo con un método flotante con altos costos de operación (consumo de agua, energía de secado).

- Tamizado: es otro método utilizado cuando, debido a la magnitud de las condiciones en que se quema el carbón, existe una gran diferencia entre la cantidad de humo del carbón sin quemar y las fracciones. La ceniza es un mineral.
- Combustión de carbón ("CBO"): consiste en eliminar el carbón no quemado. Esto se debe al alto consumo de energía y la liberación de gases contaminantes.
- Flujo químico de carbono: mediante el uso de productos químicos que fijan carbono, se reduce el daño al hormigón celular. Dado que el comportamiento puzolánico de la ceniza no mejora, el coste de los reactivos debe justificarse por los beneficios obtenidos, que se limitan al hormigón celular.
- Separación de tres electrones: se basa en el principio físico de utilizar diferentes cargas provocadas por la transferencia de electrones durante la colisión de partículas. El uso de la separación de tres electrones mejora las propiedades de la ceniza al depositar el componente mineral y permite recuperar mucho carbono no quemado y devolverlo a la combustión de la central térmica, ya que el 100 % de los residuos acaba siendo remoto.

En la Figura 9 se puede observar la optimización de ceniza: paso de una PPI alta y variable (rojo) a baja y uniforme (azul).

**Figura 10**

*Optimización de ceniza: paso de una PPI alta y variable (rojo) a baja y uniforme (azul)*



*Nota.* De “Importancia de las Cenizas Volantes en la producción de Concreto”, por Arbeláez, 2019.

### **2.2.10 Optimización del Suelo con Cenizas Volantes**

La optimización de las propiedades de las cenizas volantes mejora los beneficios obtenidos del uso como SCM, que pueden ser capturados por emisores o usuarios, agregados en beneficios relacionados con el rendimiento de las cenizas volantes, suelo como reología, solidificación, resistencia residual y durabilidad; además de beneficios económicos debido al ahorro de costos de materiales, optimización de mezclas, estabilización de suelos particulares sin aumentar los costos, reducción de la demanda, reducción o eliminación de los costos de gestión de residuos; y beneficios ambientales como la reutilización de desechos, la eliminación de responsabilidades ambientales y la reducción o eliminación de las emisiones dispersas y las emisiones generadas en los sitios de disposición.



### 2.3 Definición de Términos

- **Análisis de estabilidad:** proceso en el que se evalúa cuantitativamente la interacción entre la fuerza estabilizadora o resistente y la desestabilizadora o movilizadora que actúa sobre el talud.
- **Capacidad de carga:** la capacidad de carga es el esfuerzo máximo o fuerza cortante del suelo y se determina mediante fórmulas aceptadas por la mecánica de suelos.
- **Capacidad de soporte:** la resistencia expresada por el material del sustrato al diseño del pavimento.
- **Corrimientos:** son movimientos que afectan gran parte del terreno.
- **Deslizamiento:** movimiento a lo largo de la pendiente de una masa de suelo o roca cuyo movimiento ocurre principalmente a lo largo de superficies de fallas o zonas relativamente delgadas con fuerte deformación por corte.
- **Estudio de impacto ambiental (EIA):** sigla correspondiente a Investigación de Impacto Ambiental. Una colección de exploración, trabajo de campo y análisis del mundo real para estudiar las interacciones con el entorno laboral.
- **Suelo:** agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas que se pueden separar mecánicamente con poca energía o con la agitación del agua.
- **Suelo colapsable:** el suelo, cuando está húmedo, sufre un asentamiento o asentamiento relativamente rápido, poniendo en peligro las estructuras sobre las que descansa.
- **Suelo expansivo:** cuando el suelo se moja, se expande, poniendo en peligro las estructuras en él.
- **Suelo orgánico:** suelo oscuro que muestra una diferencia de más del 25 % entre el límite líquido de una muestra secada al aire y el límite de una muestra secada al horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24h.

- **Talud:** la forma obtenida después de excavar o rellenar no es necesariamente vertical, sino en cierto ángulo con respecto a la dirección del suelo. Es horizontal, llamado ángulo de pendiente.

### Capítulo III: Marco Metodológico

La investigación estará basada estrictamente en el **método científico**. El proyecto busca aplicar un conjunto de procesos para abordar un problema basado en la aplicación de métodos y técnicas apropiadas. Bunge (2017) menciona que la implementación concreta de cada una de estas actividades estratégicas depende del método científico. La investigación pretende aplicar el conocimiento empírico sobre la mecánica de suelos, para, a partir de la observación de la problemática planteada, determinar la *Estabilización de suelos con cenizas volantes para pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021*.

#### 3.1 Tipo, Alcance y Diseño de Investigación

##### 3.1.1 Tipo de Investigación

Corresponde a la investigación aplicada. Se tiene como objetivo resolver problemas o enfoques específicos y se centra en el estudio e integración del conocimiento para aplicarlo, y así mejorar el desarrollo científico y cultural. La investigación aplicada se basa en necesidades sociales prácticas que deben abordarse (Hernández et al., 2014).

##### 3.1.2 Alcance de la Investigación

La investigación tuvo un alcance explicativo. Se utiliza para determinar la causa y el efecto de un fenómeno en particular. Se basa en identificar no solo qué son las cosas, sino también por qué y cómo resuelven problemas. Para esto se utilizan métodos como la observación, la correlación y el diseño de experimentos (Guerrero Dávila & Guerrero Dávila, 2014).

##### 3.1.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación aplicado al estudio *Estabilización de suelos con cenizas volantes para pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021* es un diseño cuasi – experimental. En este diseño, las unidades de análisis no se asignan

basado en un criterio aleatorio. El estudio se asigna a la variable independiente para medir sus efectos sobre la variable dependiente.

El propósito de la investigación es cuantitativo. La investigación se basa en la recopilación y análisis de mucha información sobre diferentes cosas para estudiar el comportamiento y las funciones de diferentes tópicos. Los métodos analíticos incluyen análisis descriptivo, análisis exploratorio, inferencia, inferencia múltiple, muestreo y contraste.

### **3.2 Unidad de Análisis, Población y Muestra**

#### ***3.2.1 Unidades de Análisis***

La unidad de análisis de la investigación está formada por la Avenida Santa Fortunata, y las muestras de estudio obtenidas de las calicatas en el proyecto:

- Índice de plasticidad del suelo.
- Grado de compactación.
- CBR (Relación de Soporte de California).

#### ***3.2.2 Población de la Investigación***

El universo de investigación está compuesto por todos los individuos u objetos de estudio, en el espacio y alcance donde se aplica la investigación, que engloban la afectación del fenómeno estudiado (Baena, 2017).

La población de la presente investigación está conformada por todas las vías de comunicación urbana del distrito de San Antonio Provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua.

#### ***3.2.3 Muestra de la Investigación***

Una muestra de estudio se define como una porción representativa de la población que se estudia. El muestreo se logra utilizando una variedad de métodos que incluyen dos amplias categorías: muestreo probabilístico y no probabilístico (Baena, 2017).

La muestra de la presente investigación está definida de manera no probabilística por Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio, considerando que la investigación será significativa y trascendental para satisfacer el objeto del presente proyecto.

### **Tipo de Muestreo**

El tipo de muestreo es no probabilístico, muestreo intencional o de conveniencia. Este método se caracteriza por grandes esfuerzos para obtener una muestra cualitativamente representativa, que claramente incluye un grupo típico. Esto significa que los investigadores están interesados en la selección deliberada de individuos de poblaciones de fácil acceso o mediante el reclutamiento abierto en el que los individuos participan voluntariamente en la investigación en cantidades limitadas.

## **3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

### ***3.3.1 Técnica de Recolección de Datos***

La técnica usada en la recolección de la información es el método de observación directa. Se aplica cuando se desea conocer de manera directa el comportamiento de lo que se está estudiando. La observación es una de las mejores formas de hacerlo, ya que es una forma discreta y sencilla de examinar los datos, independientemente de cualquier intermediario.

Según Hernández et al. (2014), para aplicar correctamente la técnica de la observación, se debe registrar en algún instrumento mediante apuntes, y con simplicidad y facilidad de interpretación la información recopilada durante la observación. Este método es una de las herramientas más utilizadas para la recopilación de datos, pero su naturaleza avanzada puede hacer que se pierdan detalles importantes para obtener una imagen completa del estudio.

Escribe las notas en orden: esto es importante para evaluar los resultados, ya que proporciona datos claros que ayudan a tomar mejores decisiones. Al igual que con la educación, es necesario que el suelo sea estable.

### 3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Hernández et al. (2014) realizaron un estudio titulado *Para la información configurada se manipulan herramientas prediseñadas como la gestión y validación de inventarios*. Los archivos utilizados como herramientas de recolección de datos están sujetos a la Norma Técnica Peruana vigente y se rigen por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Se administró utilizando un protocolo estandarizado de las normas ASTM para su uso.

### 3.4 Técnicas de Análisis de Datos

#### 3.4.1 Procedimiento para la Estabilización del Suelo

Toda la documentación técnica para los proyectos de pavimentación preliminares y finales incluye informes explicativos que contienen resúmenes de todos los campos, operaciones de laboratorio y cabina realizadas para EMS, tráfico de investigación y estudios de DP, y hojas de cálculo y / o programas. Se debe incluir un apéndice técnico, considerando los resultados y toda la información que respalda el plan, las especificaciones y el proyecto.

En el presente proyecto, siguiendo los criterios establecidos en las normas se seguirá el siguiente procedimiento:

- El número de puntos de investigación se calculará de acuerdo con el tipo de vía, con un mínimo de tres puntos de investigación.

#### Tabla 4

*Puntos de investigación de acuerdo al tipo de vía*

<b>Tipo de vía</b>	<b>Número mínimo de puntos de investigación</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Expresas	1 punto / Cada	2000
Arteriales	1 punto / Cada	2400
Colectoras	1 punto / Cada	3000
Locales	1 punto / Cada	3600

*Nota.* Elaboración propia.

- Los mejores puntos topográficos se encuentran en los cruces de carreteras y en los puntos medios que se pueden utilizar para establecer la estratigrafía a lo largo de la carretera.
- Al reemplazar los cortes de piso para la instalación de servicio o restauración, las inspecciones se realizan en un mínimo de tres puntos cada 100 metros.
- La profundidad mínima del relieve es 1,50 m más baja que la última capa de la carretera.
- Si se encuentra suelo suelto o altamente compresible en la profundidad de la prospección, la profundidad de la prospección debe extenderse a discreción del RP.
- Para el relleno incontrolado, es necesario controlar su espesor total y excavar una profundidad de al menos 0,50 m en el suelo natural.
- Si se encuentra un macizo rocoso dentro de la profundidad de investigación, registre la profundidad y el grado de fractura y estime la resistencia a la compresión.
- Después de la colocación, muestreo y fotografía de la estratigrafía, el pozo de excavación debe llenarse con material excavado.
- Durante el levantamiento de campo, se crea un perfil estratigráfico para cada sitio de levantamiento basado en la clasificación visual manual según NTP 339.150: 2001.
- Si se encuentra un terreno fino no plástico en la profundidad del levantamiento, se debe probar para determinar su densidad natural.
- Se toma al menos una muestra representativa de cada medio para pruebas de laboratorio posteriores, de acuerdo con los criterios respectivos.
- Se identifica un CBR para cada uno de los cinco sitios de estudio y al menos un CBR para cada tipo de subsuelo.

### ***3.4.2 Método de Análisis de Datos***

Los datos obtenidos durante el período de prueba se insertarán y analizarán en tablas Excel para cada uno de los resultados deseables y, si es necesario, se creará una tabla especial que muestre los resultados de la aplicación de varias pruebas y los resultados de la estabilización de los suelos a partir de la incorporación de partículas de cenizas volantes dosificadas en las muestras de material. A su vez, se extraerán conclusiones sobre el uso más adecuado de este polímero para mejorar sustratos con las mismas propiedades.



## Capítulo IV: Resultados de la Investigación

### 4.1 Propiedades Físico-Mecánicas del Suelo Base

#### 4.1.1 Estudio Granulométrico

Para realizar el ensayo de tamaño de partícula por tamizado se tomaron muestras de tres calicatas representativas, a partir de las cuales se determinaron las clasificaciones SUCS y AASHTO según los parámetros de la norma de suelos:

##### Calicata C-01

Se ha excavado hasta 1.50 metros de profundidad. Está conformado por arenas arcillosas (SC), con 1.7 % de contenido de humedad, de color beige a rojizo y es un suelo cohesivo compacto. A la profundidad máxima de sondeo no se ubicó el nivel freático, y se observa la continuidad del estrato.

##### Calicata C-02

Se ha excavado hasta 1.50 metros de profundidad. Está conformado por arenas arcillosas (SC), con 2.0 % de contenido de humedad, de color beige a rojizo y suelo cohesivo compacto. A la profundidad máxima de sondeo no se ubicó el nivel freático y se observa la continuidad del estrato.

##### Calicata C-03

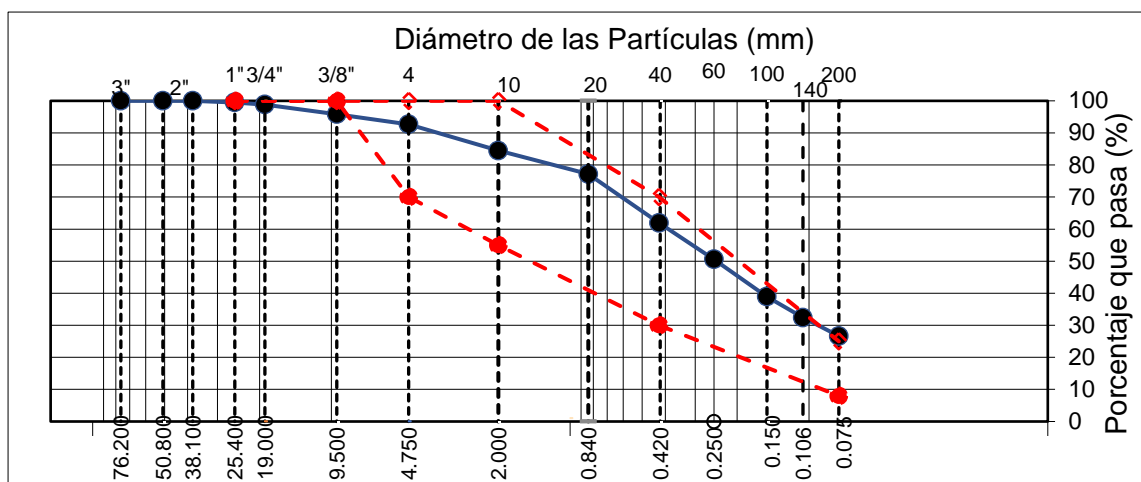
Se ha excavado hasta 1.50 metros de profundidad. Está conformado por arenas arcillosas (SC), con 1.8 % de contenido de humedad, de color beige y suelo cohesivo compacto. A la profundidad máxima de sondeo no se ubicó el nivel freático y se observa la continuidad del estrato.

#### 4.1.2 Clasificación de la Muestra en Estado Natural

SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.

**Figura 11**

*Diagrama de distribución de partículas – granulometría muestra natural*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.3 Clasificación Final de Suelos

**Tabla 5**

*Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO*

Calicata	SUCS	AASHTO
<b>SUBRASANTE</b>		
C-01	SC	A-2-4 (0)
C-02	SC	A-2-6 (0)
C-03	SC	A-2-4 (0)

*Nota.* Elaboración propia.

Según la clasificación del suelo obtenida, en la Tabla 7 se muestran los datos obtenidos según SUCS y AASHTO para las calicatas de estudio, tanto en la calicata C1 como en las C2 y C3. El terreno se clasifica como un SC arena arcillosa con grava según SUCS, mientras que según la clasificación AASHTO, las calicatas C1 y C3 se clasifican como suelo A-2-4, y la calicata C 2 se clasifica como suelo A-2-6.

#### 4.1.4 Contenido de Humedad de las Muestras

Esta prueba se realiza en función a los criterios normativos de la norma ASTM D2216/MTC E108 que detalla el procedimiento e interpretación de los resultados de los ensayos para el grupo de muestras solicitadas. Los resultados se presentan a continuación.

**Tabla 6**

*Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO*

Calicata	Contenido de Humedad (%)
C-01	1.72
C-02	1.96
C-03	1.77

*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 8 se pueden distinguir los resultados de humedad de las muestras tomadas en cada calicata. En la calicata C 1 se puede observar una humedad del 1.72 % con respecto a la muestra representativa; para la calicata C 2 el contenido de humedad fue de 1.96 %; y para la calicata C 3 el contenido de humedad fue de 1.77.

#### 4.1.5 Estudio de Límites de Consistencia

Estas pruebas se realizan en tres calicatas distintas de prueba, tomando muestras de suelo de cada una de ellas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM D-318/MTC E110,111. Se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 7**

*Límites de consistencia y plasticidad de los suelos*

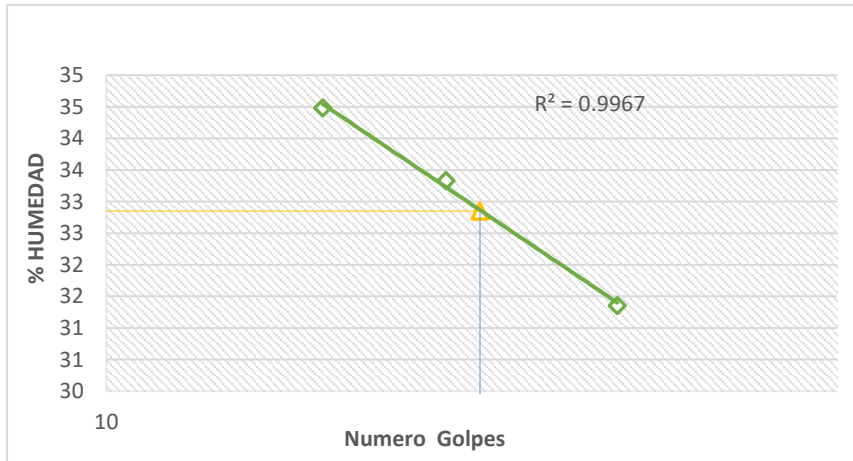
Calicata	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-01	32.85	21.93	10.92
C-02	35.30	22.04	13.26
C-03	31.20	21.60	9.60

*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 9 se pueden ver los datos encontrados del análisis de cada calicata, que se encuentran en las muestras, las cuales arrojaron los siguientes resultados en suelo natural:

**Figura 12**

*Diagrama de Fluidez Calicata C1*



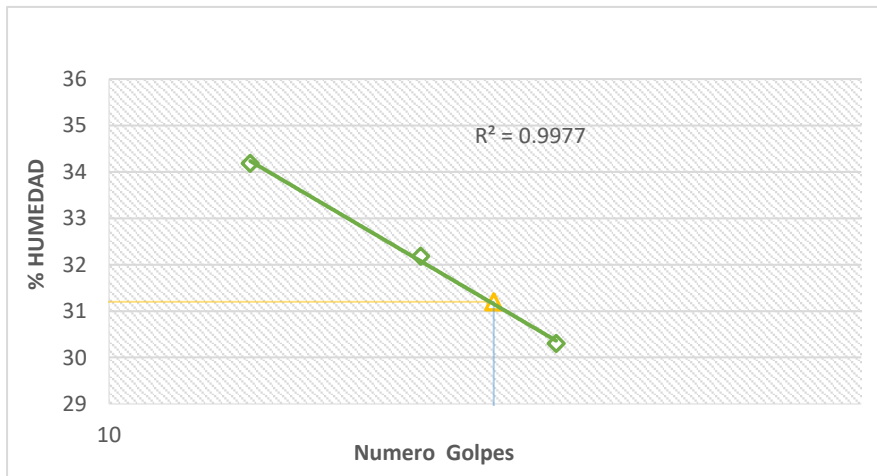
*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13**

*Diagrama de Fluidez Calicata C2*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14***Diagrama de Fluidez Calicata C3*

*Nota.* Elaboración propia.

En las Figuras 11, 12 y 13 se representa los diagramas de fluidez de las muestras representativas de cada calicata de estudio:

- Para calicata C 1: el LL fue de 32.85 %, el LP fue de 21.93 %; por lo tanto, el índice de plasticidad obtenido fue de 10.92 %.
- Para calicata C 2: el LL fue de 35.30 %, el LP fue de 22.04 %; por lo tanto, el índice de plasticidad obtenido fue de 13.26 %.
- Para calicata C 3: el LL fue de 31.20 %, el LP fue de 21.60 %; por lo tanto, el índice de plasticidad obtenido fue de 9.60 %.

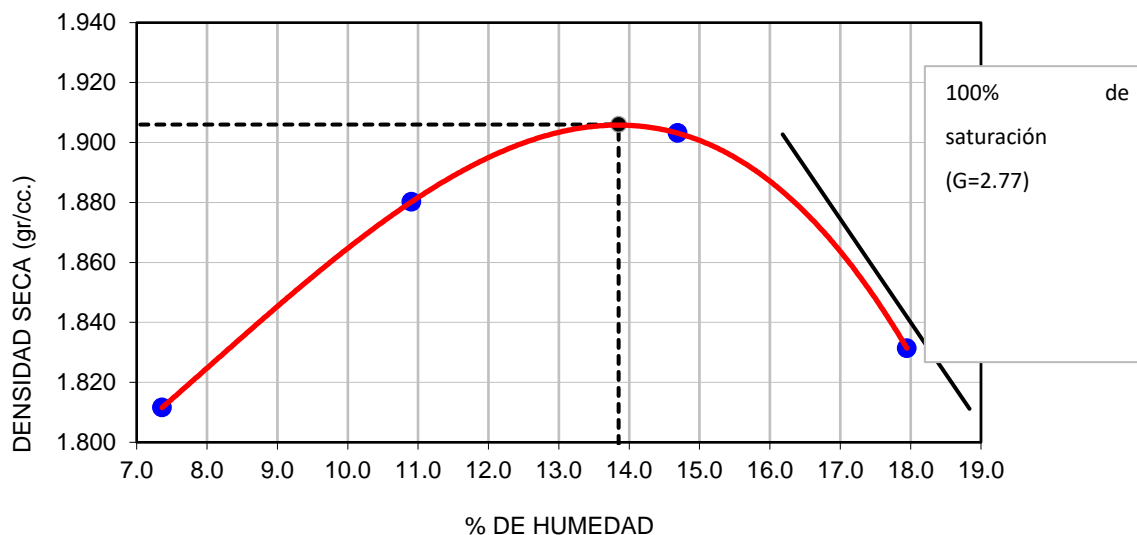
#### **4.1.6 Proctor Modificado en Suelo Natural**

Para realizar la prueba Proctor modificada se tomaron muestras de tres calicatas de acuerdo a los parámetros ASTM D1557/MTC E-115, cuyos resultados se presentan a continuación:

- Densidad Máxima Seca: 1.906gr/cm<sup>3</sup>
- Contenido Humedad Óptima: 13.85 %.

**Figura 15**

*Diagrama relación humedad - densidad seca, muestra natural*



*Nota.* Elaboración propia.

En la imagen 25 se puede observar los resultados obtenidos para las muestras de estudio realizadas en las pruebas Proctor modificadas, a partir de las cuales se demuestra que el contenido de humedad óptimo obtenido es de 13.85 % y la densidad máxima seca es de 1.906 kg/cm<sup>3</sup>.

#### **4.1.7 Californian Bearing Ratio (CBR) Muestra Natural**

Para realizar la prueba Californian Bearing Ratio (CBR) se seleccionaron muestras ideales de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM D1883/MTC E132. Los resultados se observan a continuación:

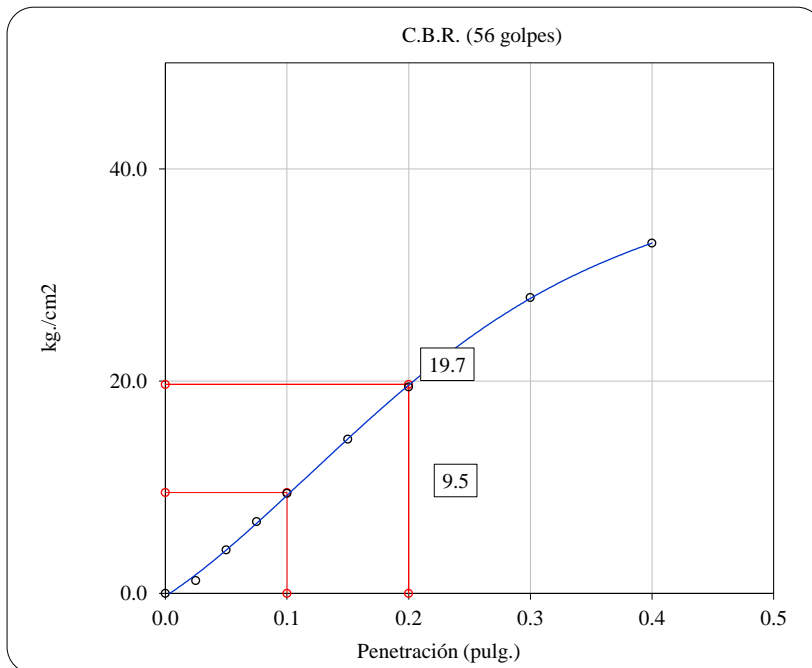
**Tabla 8**

*Valor de CBR para la muestra representativa*

Calicata	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)
C-02	1.906	13.85	13.512	5.3

**Figura 16**

*Curva de penetración vs. esfuerzo, CBR 56 golpes*



*Nota.* Elaboración propia.

El valor del CBR obtenido para la muestra representativa fue de 13.512 al 100 %, mientras que al 95 % el valor de CBR fue de 5.3.

#### **4.1.8 Suelo en Estado Natural**

**Tabla 9**

*Resumen de propiedades físico-mecánicas de suelo en estado natural*

Calicat a	SUC S	AASHT O	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Densida d Máxima Seca (g/cc)	Humeda d Óptima (%)	CBR (100 %)	CBR (95 %)	Graveda d especific a de sólidos
C-01	SC	A-2-6 (0)	36.12	21.93	14.19	1.890	14.38	11.8	5.2	2.589
C-02	SC	A-2-6 (0)	35.30	22.04	13.26	1.906	13.85	13.5	5.3	2.601
C-03	SC	A-2-6 (0)	37.88	21.60	16.28	1.885	15.20	11.4	4.9	2.583

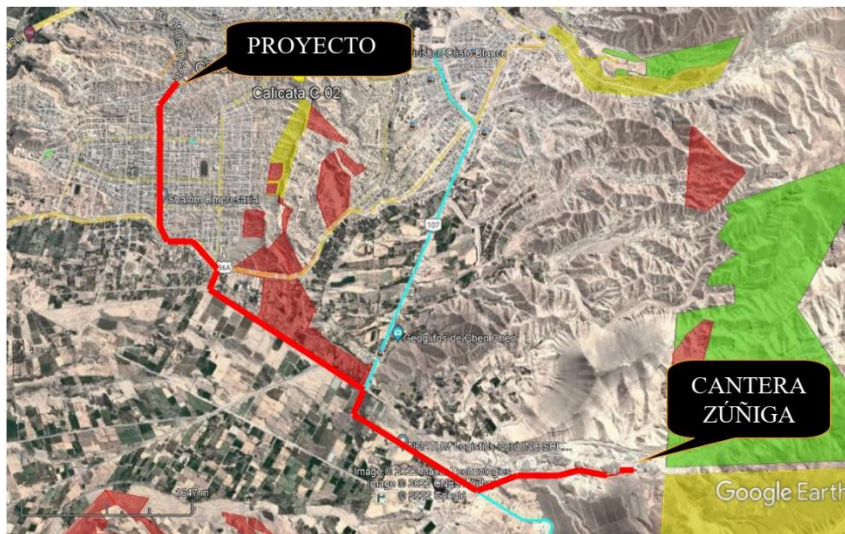
*Nota.* Elaboración propia.

## 4.2 Propiedades Mecánicas de las Muestras de Ceniza Volante

Las características de las cenizas volantes, tanto físicas como mecánicas, como producto residual del proceso de producción en la planta de agregados de la cantera “Zúñiga”.

### Figura 17

*Ubicación de la cantera de extracción de cenizas volantes*



*Nota.* Tomado de Google Earth.

Ubicación del proyecto de investigación con respecto a la cantera “Zúñiga”:

Ruta desde el proyecto hasta la cantera: 7.30 km. Acceso: la distancia desde el proyecto de tesis hasta la cantera “ZÚÑIGA” (Alonso III) es de 7.30 km, y el recorrido es por la avenida Santa Fortunata, carretera Binacional-San Antonio, carretera a Toquepala.

Finalmente, a través de una trocha carrozable se arriba a la cantera indicada.

Para la obtención de sus propiedades físico-mecánicas se planteó el proceso típico de ensayos de laboratorio EMS de diámetro de partículas, límites de Atterberg y clasificación: SUCS y AASHTO. Se han obtenido los siguientes resultados:



### 4.2.1 Clasificación de Suelos Cenizas Volantes

**Tabla 10**

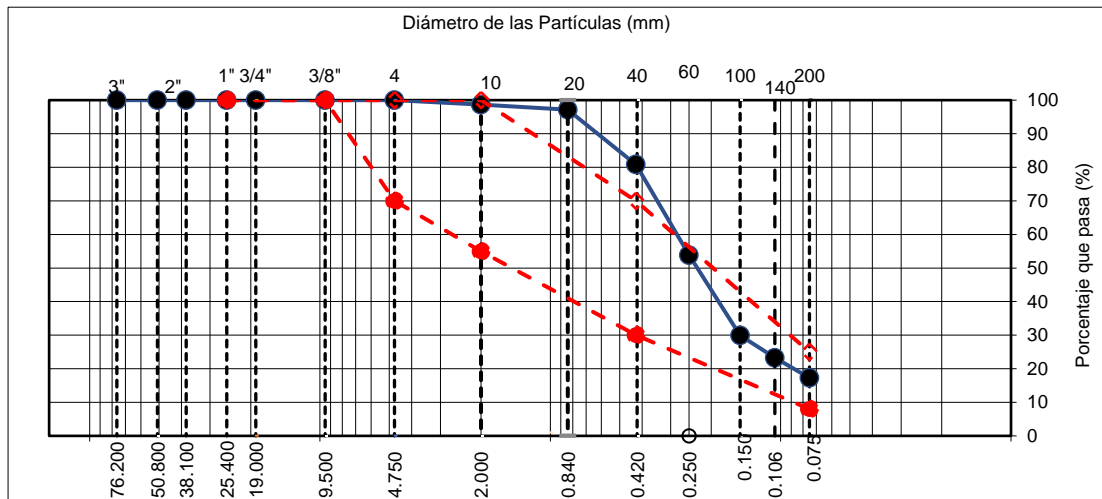
*Clasificación de suelos de las cenizas volantes*

Muestra	SUCS	AASHTO
M-01	SM	A-2-4 (0)
M-02	SM	A-2-4 (0)

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 18**

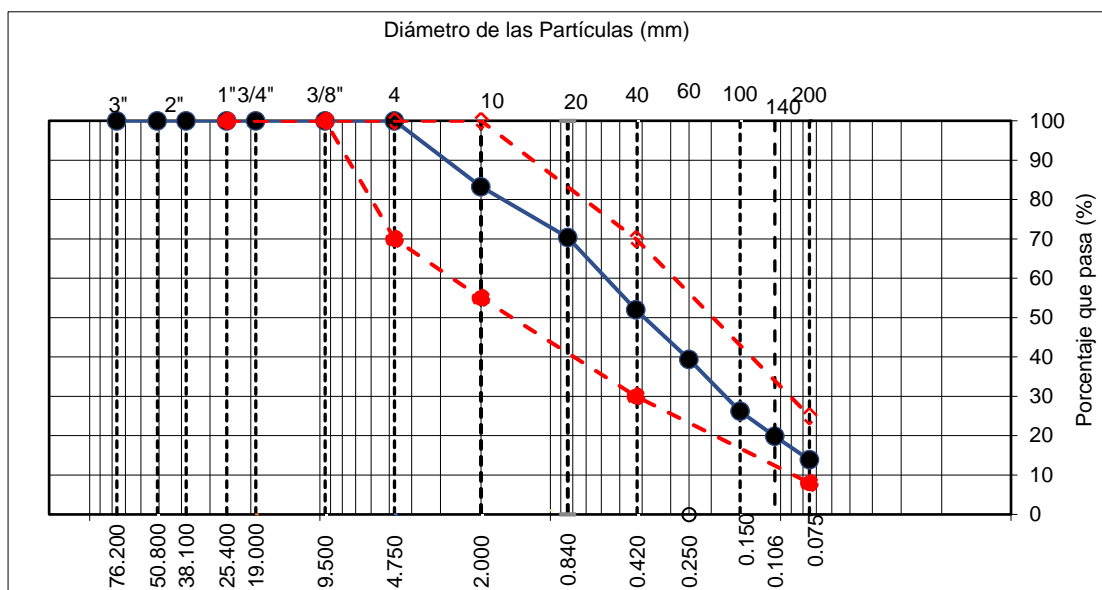
*Diagrama de distribución de partículas ceniza volante M1*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 19**

*Diagrama de distribución de partículas ceniza volante M2*



*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 10 se identifican las características mecánicas y físicas para las muestras de cenizas volantes ensayadas. Se tomaron como representativas dos muestras controladas (M-01, M-02), para las cuales se realizó la clasificación de suelos, obteniendo una clasificación SM (Arena limosa) para ambas muestras, según la clasificación SUCS; mientras que, según la clasificación AASHTO, las muestras se clasificaron como A-2-4.

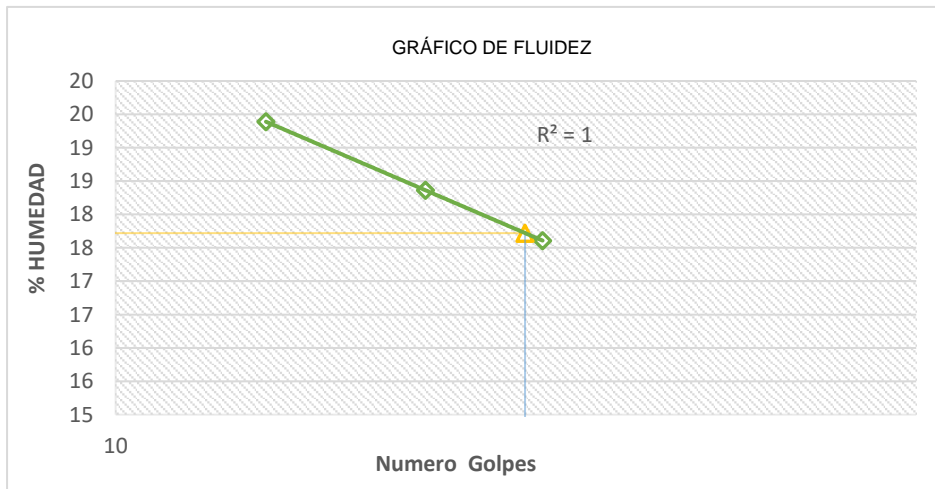
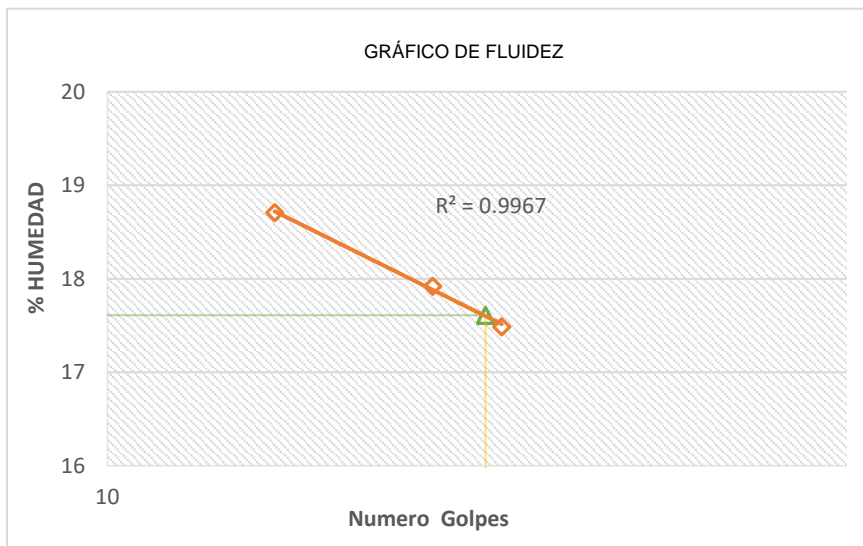
#### **4.2.2 Índice de Plasticidad de Ceniza Volante**

**Tabla 11**

*Propiedades físico mecánicas de las cenizas volantes*

<b>Muestr</b> <b>a</b>	<b>Contenido de Humedad</b> <b>(%)</b>	<b>LL</b> <b>(%)</b>	<b>LP</b> <b>(%)</b>	<b>IP</b> <b>(%)</b>
M-01	1.57	17.72	17.68	0.04
M-02	1.23	17.61	17.54	0.07

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 20***Diagrama de Fluidez Ceniza volante M1**Nota.* Elaboración propia.**Figura 21***Diagrama de Fluidez Ceniza volante M2**Nota.* Elaboración propia.

Los límites de Atterberg obtenidos fueron: para la muestra M1 se obtuvo un límite líquido de 17.72 % y un límite plástico de 17.68 %, siendo 0.04 % el índice de plasticidad; de

la misma forma, para la muestra M2, el límite líquido fue de 17.61 % y el límite plástico de 17.54 %, siendo el índice de plasticidad de 0.07 %.

#### **4.2.3 Humedad y Contenido de Partículas de las Cenizas Volantes**

**Tabla 12**

*Propiedades físico mecánicas de las cenizas volantes*

<b>Muestra</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>	<b>% de grava</b>	<b>% de Arena</b>	<b>% de finos</b>
M-01	1.57	0.00	82.72	17.28
M-02	1.23	0.00	86.13	13.87

*Nota.* Elaboración propia.

La cantidad de líquido en la muestra M1 fue de 1.57 % y de la muestra M2 fue de 1.23 %, mientras que la distribución de partículas determinó que las muestras se clasifican como finos, obteniendo que la muestra M1 contiene un 82.72 % de arena y un 17.28 % de finos; y la muestra M2 contiene un 86.13 % de arenas y 13.87 % de finos.

### 4.3 Propiedades Físico Mecánicas del Estabilizado

#### 4.3.1 Cálculo de Mezcla Recomendable Promedio de Suelos para Estabilización de Material Arena Arcillosa con Ceniza Volante

**Tabla 13**

*Valor de CBR para la muestra representativa*

<b>Contenido de Arena arcillosa (%)</b>	100	90	85	80
<b>Contenido de Ceniza Volante (%)</b>	0	10	15	20
<b>Límite Líquido (%)</b>	35.30	31.25	29.74	28.70
<b>Límite Plástico (%)</b>	22.04	20.09	19.87	20.01
<b>Índice Plástico (%)</b>	13.26	11.16	9.87	8.69

*Nota.* Elaboración propia.

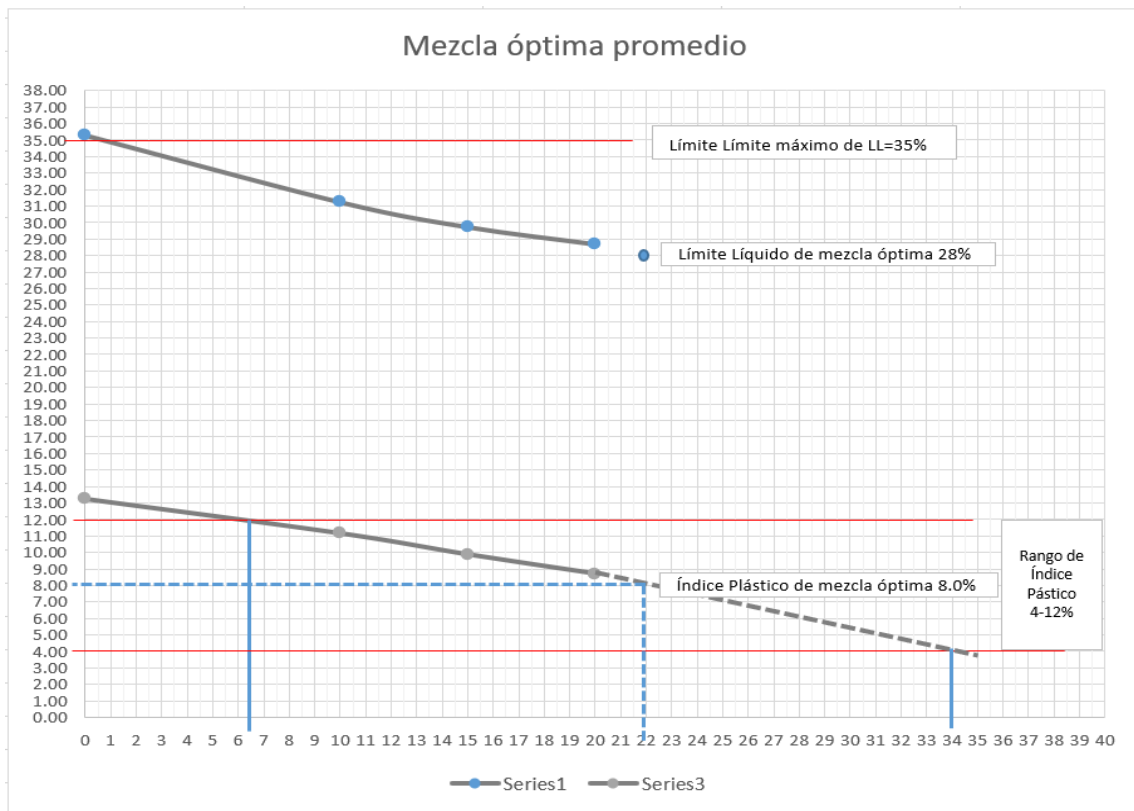
En la Tabla 13 se observan los datos obtenidos a partir de la aplicación del método gráfico para determinar la mezcla óptima del terreno a nivel de subrasante con Ceniza Volante. Se obtuvo:

Arena arcillosa: 78 % p/p.

Ceniza Volante: 22 % p/p.

Figura 22

*Dosificación óptima promedio de Arena Arcillosa + Ceniza Volante*



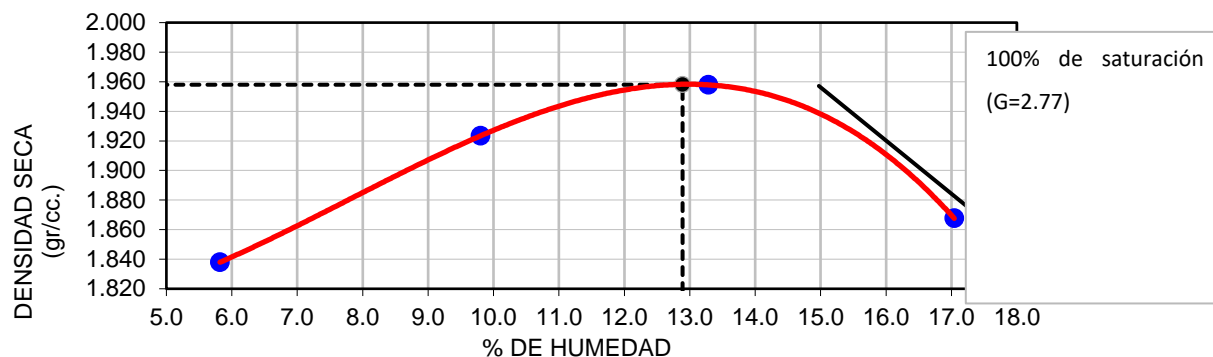
*Nota.* Elaboración propia.

**4.3.1.1 Proctor Modificado Arena Arcillosa + 22 % Ceniza Volante.** Para realizar la prueba Proctor modificada se tomaron muestras de tres calicatas de acuerdo a los parámetros ASTM D1557/MTC E-115, cuyos resultados se presentan a continuación:

- Densidad Máxima Seca: 1.958gr/cm<sup>3</sup>.
- Contenido Humedad Óptima: 12.89 %.

**Figura 23**

Diagrama relación humedad - densidad seca Arena Arcillosa + 22 % Ceniza Volante



Nota. Elaboración propia.

En la Figura 29 se pueden observar los resultados obtenidos para las muestras de estudio realizadas en las pruebas Proctor modificadas. Se demuestra que el contenido de humedad óptimo obtenido es de 12.89 % y la densidad máxima seca es de 1.958 kg/cm<sup>3</sup>.

#### 4.3.1.2 Californian Bearing Ratio (CBR) Arena Arcillosa + 22 % Ceniza Volante.

Para realizar la prueba Californian Bearing Ratio (CBR) se tomaron muestras representativas de acuerdo a los parámetros de la norma ASTM D1883/MTC E132. Los resultados se observan a continuación:

**Tabla 14**

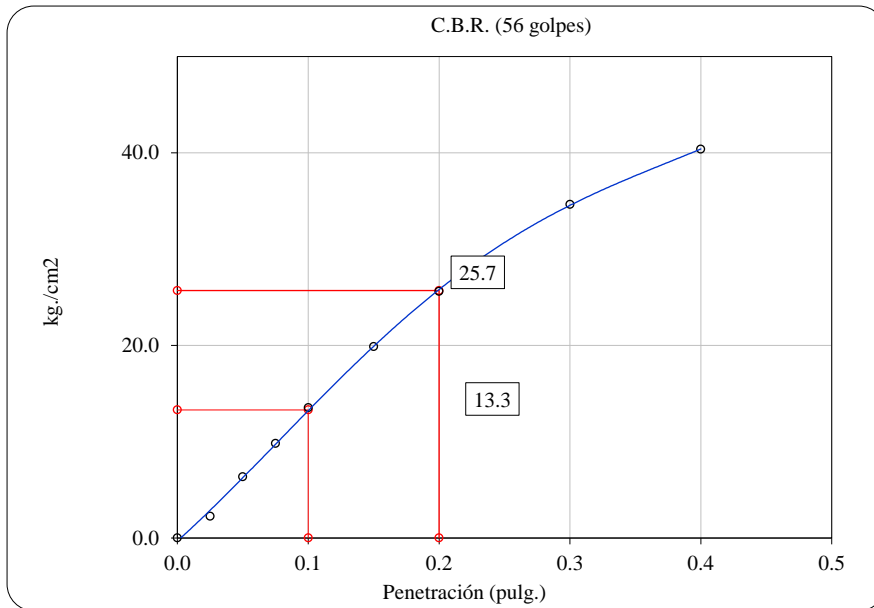
Valor de CBR para la Arena Arcillosa + 22 % Ceniza Volante

Mezcla Óptima	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)	Gravedad específica de sólidos
78% C-02+22% Ceniza Volante	1.958	12.89	18.917	9.6	2.632

Nota. Elaboración propia.

**Figura 24**

*Curva de penetración vs. Esfuerzo, CBR 56 golpes Arena Arcillosa + 22 % Ceniza Volante*



*Nota.* Elaboración propia.

En el proceso de mejoramiento del terreno de la subrasante, se estableció que la dosificación óptima para el suelo es 78 % de muestra de suelo y 22 % de ceniza volante. La densidad máxima seca de la muestra estabilizada fue de 1.958 kg/cc. La humedad óptima del suelo fue de 12.89 % de humedad. Finalmente, el valor obtenido de CBR para las condiciones establecidas fue de 18.971 %.



### 4.3.2 Cuadro Resumen de Resultados del Estudio

**Tabla 15**

*Resultados de la investigación*

Calicata	SUCS	AASHTO	Contenido de Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% de grava	% de Arena	% de finos	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)	Gravedad específica de sólidos
<b>SUBRASANTE</b>														
C-01	SC	A-2-4 (0)	1.72	32.85	21.93	10.92	7.3	66.0	26.7	ND	ND	ND	ND	ND
C-02	SC	A-2-6 (0)	1.96	35.30	22.04	13.26	18.1	55.9	26.0	1.906	13.85	13.512	5.3	2.601
C-03	SC	A-2-4 (0)	1.77	31.20	21.60	9.60	6.7	66.90	26.39	ND	ND	ND	ND	ND
<b>CENIZA VOLANTE</b>														
M-01	SM	A-2-4 (0)	1.57	17.72	17.68	0.04	0.00	82.72	17.28	ND	ND	ND	ND	
M-02	SM	A-2-4 (0)	1.23	17.61	17.54	0.07	0.00	86.13	13.87	ND	ND	ND	ND	
<b>MATERIAL ESTABILIZADO: 85% C-02+15% CENIZA VOLANTE</b>														
Mezcla Óptima	SUCS	AASHTO	Contenido de Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% de grava	% de Arena	% de finos	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)	Gravedad específica de sólidos
78% C-02+22% Ceniza Volante	SC	A-2-4(0)	1.60	28.00	20.00	8.00	17.4	59.19	23.43	1.958	12.89	18.917	9.6	2.632

*Nota.* Elaboración propia.

## 4.4 Comparativa de Resultados Obtenidos por Calicata Según Estudio

### 4.4.1 Plasticidad de la Subrasante

**Tabla 16**

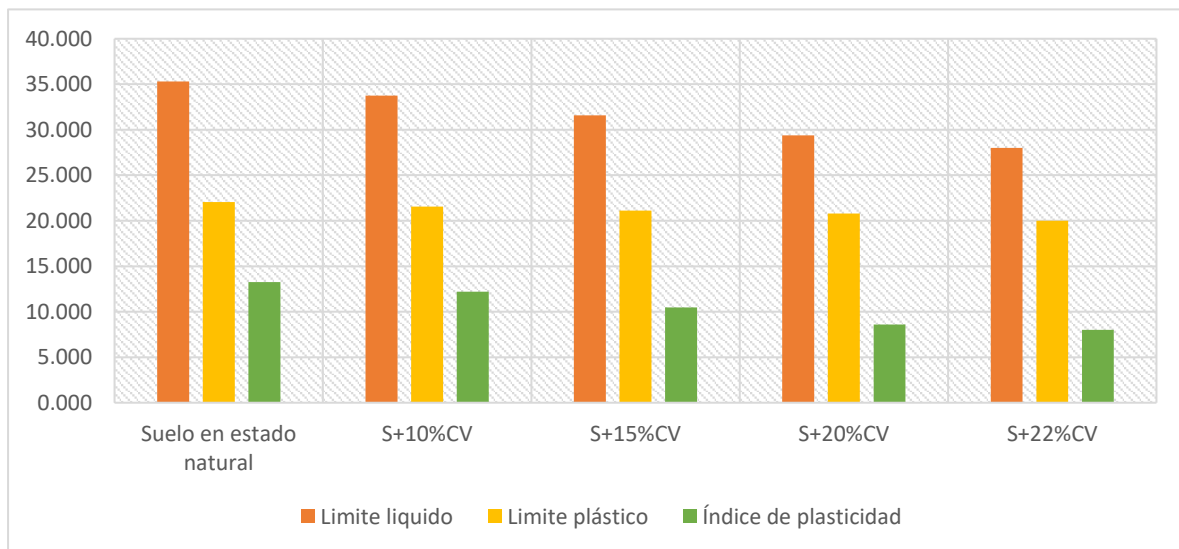
*Mejoramiento de la plasticidad*

Muestra		LL	LP	Índice de plasticidad (IP)
Suelo en estado natural	M1	35.300	22.040	13.260
S+10%CV	M2	33.750	21.550	12.200
S+15%CV	M3	31.580	21.100	10.480
S+20%CV	M4	29.380	20.780	8.600
S+22%CV	M5	28.000	20.000	8.000

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 25**

*Variación de la plasticidad del suelo para dosificaciones del 10 %, 15 %, 20% y 22 %*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4.2 Relación Densidad vs. Humedad Óptima de la Muestra

**Tabla 17**

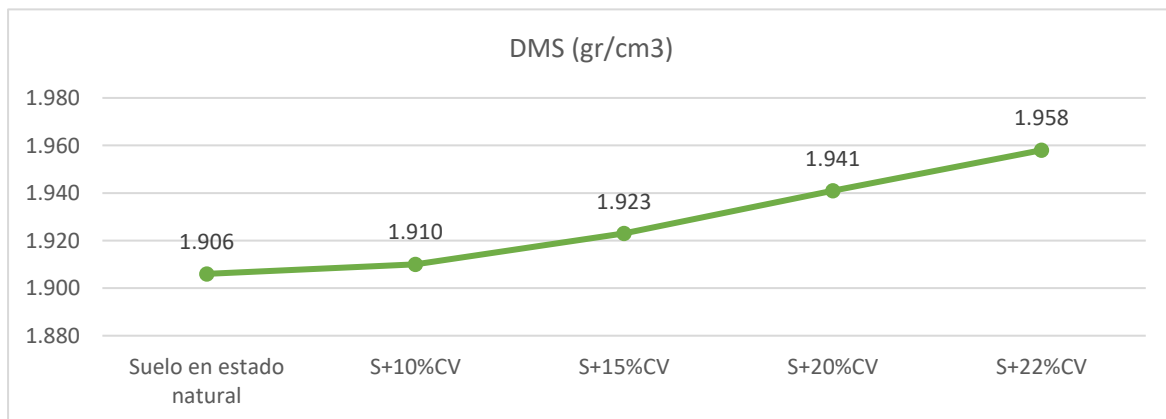
Relación entre la Densidad Máxima Seca vs. Contenido de Humedad Óptimo

Muestra		DMS (gr/cm <sup>3</sup> )	CHO (%)
Suelo en estado natural	M1	1.906	13.850
S+10%CV	M2	1.910	13.270
S+15%CV	M3	1.923	13.010
S+20%CV	M4	1.941	12.950
S+22%CV	M5	1.958	12.890

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 26**

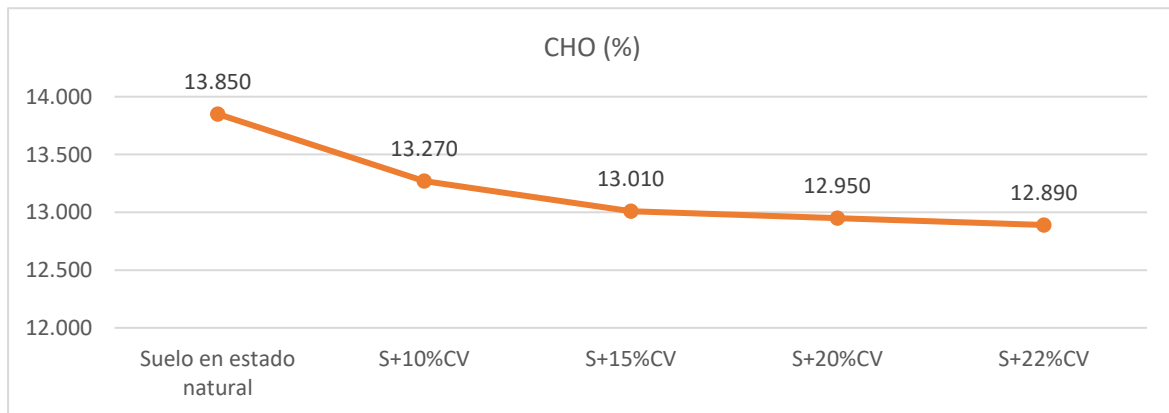
*Optimización de la Densidad Máxima Seca para las muestras dosificadas*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 27**

*Optimización del Contenido de Humedad Óptimo para las muestras dosificadas*



*Nota.* Elaboración propia.

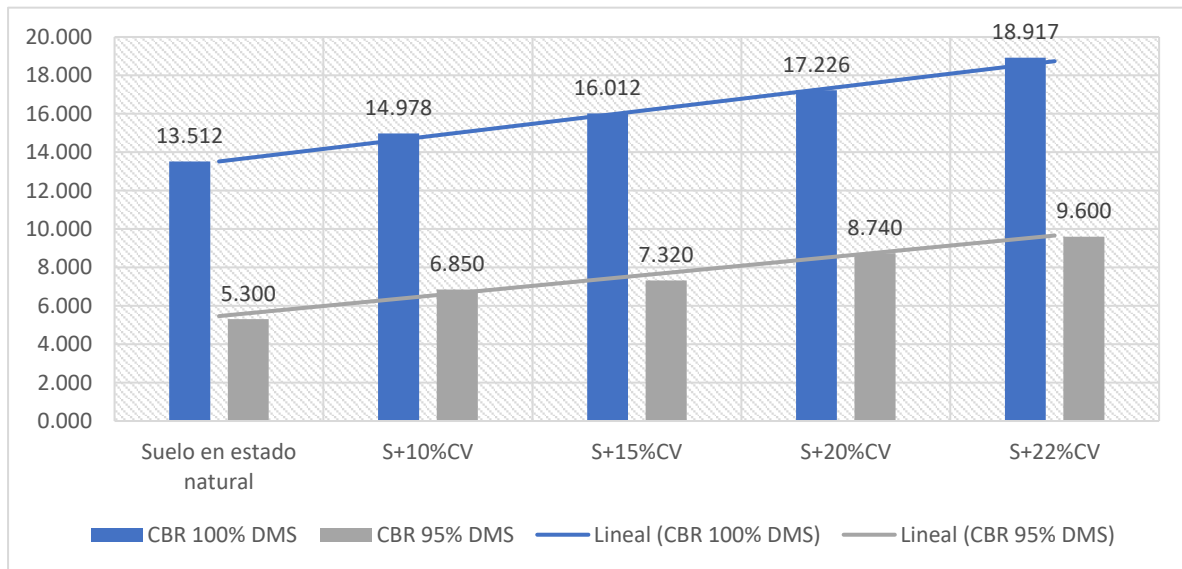
#### **4.4.3 Optimización del CBR para la Muestra**

**Tabla 18**

*Optimización del CBR*

Muestra		CBR 100% DMS	CBR 95% DMS
Suelo en estado natural	M1	13.512	5.300
S+10%CV	M2	14.978	6.850
S+15%CV	M3	16.012	7.320
S+20%CV	M4	17.226	8.740
S+22%CV	M5	18.917	9.600

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 28***Optimización del CBR al 95 % y 100 %, tendencia**Nota. Elaboración propia.*

#### 4.4.4 Prueba de normalidad Shapiro Wilks

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro Wilks para determinar si las variables proceden de una muestra con distribución normal. Para tal caso se planteó el nivel de significancia del 0.05. Se tiene como hipótesis:

$H_0$ : Las variables de estudio para la optimización del suelo de la subrasante están sostenidas por una muestra con distribución normal.

$H_1$ : Las variables de estudio para la optimización del suelo de la subrasante no están sostenidas por una muestra con distribución normal.

**Regla de decisión:** Si  $p > 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_1$ ); por el contrario, si  $p < 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

**Tabla 19**

*Prueba de normalidad Shapiro Wilk*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
LL	,964	5	,834
LP	,991	5	,983
IP	,935	5	,634
DMS	,930	5	,595
CHO	,823	5	,122
CBR100	,996	5	,996
CBR95	,979	5	,927

*Nota.* SPSS statistics V27.

En la Tabla 19 se visualizan los resultados del análisis de datos en SPSS Statistics v27 para la prueba de normalidad. Según los resultados que arroja Shapiro Wilk, todas las variables analizadas, el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, densidad máxima seca, contenido de humedad óptimo y el CBR, arrojaron valores de significancia  $p > 0.05$ , lo que significa que todas las variables proceden de muestras con distribución normal.

#### 4.4.5 Prueba de hipótesis *r* de Pearson

Según el análisis de datos, para todas las variables analizadas que provienen de una muestra con distribución normal se aplicará la prueba de correlación de Pearson para cuantificar el grado de asociación de las variables.

En este caso específico, para determinar si las cenizas volantes tuvieron un efecto de influencia sobre las propiedades de la subrasante, se medirá la correlación progresiva entre las dosificaciones aplicadas del material y la variación de la variable respectiva.

Formulación de hipótesis estadística

H<sub>0</sub>: La aplicación de las cenizas volantes no influye significativamente sobre la mejora de las propiedades del suelo de la subrasante del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.

H<sub>1</sub>: La aplicación de las cenizas volantes influye significativamente sobre la mejora de las propiedades del suelo de la subrasante del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.

**Regla de decisión:** para un nivel de significancia del 5 % (0.05). Si  $p \leq 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>); por el contrario, si  $p > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

**Tabla 20**

*Prueba de hipótesis *r* de Pearson*

	Correlaciones	Dosificación
Dosificación	Correlación de Pearson	1
	Sig. (bilateral)	
	N	5
LL	Correlación de Pearson	-,966**
	Sig. (bilateral)	,007
	N	5
LP	Correlación de Pearson	-,941*
	Sig. (bilateral)	,017
	N	5

IP	Correlación de Pearson	-,965**
	Sig. (bilateral)	,008
	N	5
DMS	Correlación de Pearson	,899*
	Sig. (bilateral)	,038
	N	5
CHO	Correlación de Pearson	-,975**
	Sig. (bilateral)	,005
	N	5
CBR 100	Correlación de Pearson	,958*
	Sig. (bilateral)	,010
	N	5
CBR 95	Correlación de Pearson	,975**
	Sig. (bilateral)	,005
	N	5

*Nota.* SPSS statistics V27.

En el cuadro 20 se visualizan los resultados del análisis de correlación de Pearson para determinar la asociación entre las dosificaciones aplicadas de cenizas volantes y las variables analizadas en relación a cada estudio de mecánica de suelos. El nivel de significancia para el índice de plasticidad 0.008 de la densidad máxima seca fue de 0.038 y el contenido óptimo de humedad fue 0.005. Además, para el CBR al 100 % el valor de la significancia fue de 0.010 y para el CBR al 95 % fue de 0.005. Todos los valores de significancia obtenidos están por debajo de 0.05 ( $p \leq 0.05$ ), es decir, se tiene las pruebas suficientes para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa: la aplicación de las cenizas volantes influye significativamente sobre la mejora de las propiedades del suelo de la subrasante del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.

Los coeficientes de correlación obtenidos para cada variable analizada fueron de  $r = -0.965$  para el índice de plasticidad. En el caso de la humedad óptima se obtuvo  $r = 0.899$  y el



contenido de humedad óptimo  $r=-0.975$ . Finalmente, la relación entre las dosificaciones y el incremento del CBR fue de  $r=0.975$ . Todos los coeficientes de relación obtenidos se clasifican como coeficiente de correlación alto, lo que significa que existe correlación directa entre las dosificaciones de ceniza volante y la optimización y mejoramiento de las propiedades mecánicas y físicas del suelo.

#### 4.5 Verificación de la Hipótesis

En el presente proyecto de investigación se planteó la hipótesis general de la siguiente manera: “La incorporación de cenizas volantes en la muestra de estudio mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021”. Para el caso se analizaron las propiedades físico-mecánicas del suelo, centrándose principalmente en el análisis de la plasticidad y el valor del CBR para la muestra utilizada. Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 21**

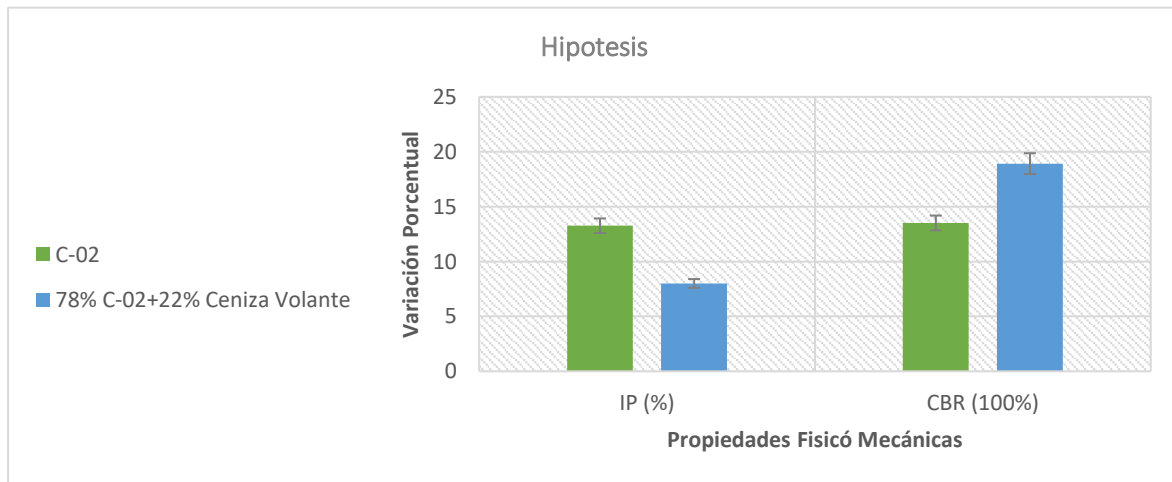
*Contrastación de hipótesis*

<b>Calicata</b>	<b>IP (%)</b>	<b>CBR (100%)</b>
C-02	13.26	13.512
78% C-02+22% Ceniza Volante	8	18.917

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 29**

*Comparación de resultados prueba de hipótesis*



*Nota.* Elaboración propia

Se observa claramente que, al realizar la comparación de valores en cuanto al índice de plasticidad, el valor inicial de la muestra en estado natural C2 es de 13.26, mientras que la plasticidad de las muestras más el 22 % de ceniza volante es de 8. Bajo el mismo criterio, el valor del CBR de la muestra en estado natural es de 13.512 %, mientras que el valor del CBR de la muestra con la adición del 22 % de ceniza volante es de 18.917 %, lo cual muestra una variación significativa.

## Capítulo V: Discusión

### 5.1 Discusión de Resultados

Con base en los objetivos planteados, se llevó a cabo la siguiente discusión en el contexto de la investigación y los antecedentes considerados:

**Objetivo 1: realizar el estudio experimental para determinar la influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av.**

**Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.**

En la investigación desarrollada por Hernández et al. (2016), titulada *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador*, se indica que el ensayo de California CBR Support considera que los valores inferiores a 10 % CBR son de mala calidad, en cuyo caso se obtuvo un valor CBR de 1,93 %. Se han hecho intentos para aumentar la capacidad de carga de CBR agregando cal a los suelos naturales para cumplir con los requisitos mínimos para su uso como relleno. Para ello es necesario añadir un peso de 5 % de cal al suelo en su estado natural. Esto aumentará su valor de soporte del 1,93 % al 5,00 %.

En la presente investigación se obtuvo resultados similares, ya que, con base en el ensayo de CBR para la subrasante de un suelo para la subrasante de la vía de comunicación, se consiguió un CBR inicial de 13.512 %. Ello para un suelo en estado natural. Después de realizar las dosificaciones correspondientes, se obtuvo una dosificación adecuada de 22 % de adición de ceniza volante, incrementando el valor de CBR hasta el 18.917 %, logrando un incremento considerable, sobre todo para el uso de suelo en la construcción de una vía de comunicación.

**Objetivo 2: determinar las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021.**

En la investigación de Cabezas y Cerrato (2019), titulada *Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera)*, se consideró que el suelo era un material calcáreo poco dúctil, con un 98,31 % pasando a través del tamiz de 2 mm (# 10) en masa y 8,8 pasando por el tamiz de 75 mm en masa (# 200). Esto indica que el uso del material no es óptimo porque no respeta el porcentaje máximo indicado por la norma INVIAS. Al momento de la caracterización del suelo, este no cumple con los requisitos exigidos por el INVIAS. El límite de liquidez excede el 0 % y el índice de plasticidad excede el 15 %. Estos máximos son el tipo de suelo óptimo estándar recomendado. Al caracterizar el suelo, se muestra que tener un CBR de 2.2 % no corresponde con el valor normal para un uso óptimo de la tierra.

Los resultados fueron contrastados con el proyecto citado, ya que estos resultados fueron de 1.96 % de contenido de húmedas y un índice de plasticidad de 13.26 %, además de una densidad seca de 19.906 g/cc y una humedad óptima de 13.85 %. Se catalogó las propiedades como muy al margen de los requerimientos óptimos para la construcción de vías de comunicación urbanas.

## Conclusiones

Para la presente investigación, titulada *Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021*, se obtuvo las siguientes conclusiones:

**Primera.** Se realizó el estudio experimental para determinar la influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio, a partir de la dosificación de 10 %, 15 % y 20 % de ceniza volante sobre la muestra en estado natural. Se obtuvo un 22 % de dosificación ideal. En la muestra en estado natural se obtuvo un CBR de 13.85 %, mientras que en la muestra dosificada con la incorporación del 22 % de ceniza volante el CBR fue de 18.92. Además, la plasticidad del suelo se redujo de un 13.26 % a un 8 %, demostrando una influencia directa positiva del uso de las cenizas volantes para la estabilización de suelos.

**Segunda.** Las características físico-mecánicas de las cenizas volantes, de las cuales se analizó dos muestras representativas fueron, la clasificación de suelos SUCS arrojó un SC (Arena arcillosa). La humedad natural del suelo fue de 1.96 %, además de un límite líquido de 35.30 % y un límite plástico de 22.04 %, para concluir en un índice de plasticidad del 13.26 %.

**Tercera.** Las características físico-mecánicas del suelo en estado natural en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio, fueron: la clasificación de suelos SUCS arrojó un SM (Arena Limosa); la humedad natural del suelo fue de 1.57 %, además de un límite líquido de 17.72 % y un límite plástico de 17.68 %, para concluir en un índice de plasticidad del 0.04 %. Adicionalmente, el porcentaje de grava en la muestra fue del 0 %, el porcentaje de arena fue de 82.72 % y el porcentaje de finos fue de 17.68 %.

**Cuarta.** Las características del suelo con la incorporación del 10 %, 15 % y 20 % de cenizas volantes se obtuvieron a partir de una media óptima de la incorporación de cenizas

volantes. Esta fue de 22 %. El suelo según SUCS fue un suelo SC, y según AASHTO fue A-2-4. El contenido de humedad obtenido fue de 1.60 %, el límite líquido de 28 %, el límite plástico de 20 % y el índice de plasticidad de 8 %. La densidad máxima seca de la muestra fue de 1.958 % y la humedad óptima de 12.89 %. Finalmente, el valor de CBR fue de 18.92 al 100 % y 9.6 al 95 %.

## Recomendaciones

Para la presente investigación titulada *Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021*, se presentan las siguientes recomendaciones:

**Primera.** Se recomienda realizar estudios en diferentes suelos a los que se les aplica este agente estabilizador de las cenizas volantes, para conocer sus propiedades y cómo se comporta en diferentes suelos.

**Segunda.** Se recomienda que el suelo no contenga materia orgánica con más del 2 % en peso de materia, pues se determinó que influye directamente en el comportamiento del suelo y su estabilización en el tiempo.

**Tercera.** Se recomienda tener más opciones como agentes de estabilización, ya que su uso depende principalmente de su factibilidad económica. Use diferentes estabilizadores para mejorar la actualización y vea si es económicamente rentable.

**Cuarta.** Es recomendable comparar el presupuesto de estabilización de subrasante con los distintos aditivos estabilizadores del mercado.

### Referencias Bibliográficas

- Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista ingeniería de construcción*, 5-20.
- Altamirano, G. J., & Díaz, A. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas*. Potosí-Rivas: Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua.
- Arbeláez, G. (2019). *Importancia de las Cenizas Volantes en la producción de Concreto*. Mexico: ARGOS.
- Augusto, M. (2017). El planteamiento científico. *Revista Cubana de Salud Pública*, 43-46.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación Serie integral por competencias Tercera Edición*. Distrito Federal, Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Cabezas, E., & Cerrato, Y. (2019). *Evaluación de la resistencia de un suelo grueso reforzado con fibras de coco (cocotero, cocos nucifera)*. Girardot: Universidad Piloto De Colombia Seccional Del Alto Magdalena.
- Cañar, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con Cenizas de Carbon*. Ambato – Ecuador: Universidad Técnica De Ambato.
- Castillo, B. (2017). *Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de Cascara de arroz para el Mejoramiento de la Subrasante*. Lima-Perú: Universidad Nacional De Ingeniería.
- Castro, M., Chang, L., & Salas, L. (2003). *Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua*. Moquegua: Gerencia XIV CONIC: ICG Instituto de la Construcción y Gerencia.



- Checa, J. (2019). *Propiedades mecánicas de la fibra de totora (Schoenoplectus californicus ) sometida a solución salina mediante ensayos mecánicos*. Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Farooq, A., & Mir, F. (2021). Subgrade Stabilization Using Non-Biodegradable Waste Material. *Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Srinagar, India*, 1-10. doi:[http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-0886-8\\_50](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-0886-8_50)
- Gallardo, R., Cuanalo, O., Quintero, L., Muñoz, A., & Martínez, C. (2017). Análisis del comportamiento de suelos de alta plasticidad con la adición del material de residuo en la fabricación de ladrillo cerámico. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 105-110.
- García, X. (2019). *Mejoramiento de un suelo arcilloso de la localidad de Pacaisapa – Ayacucho utilizando residuos industriales para evaluarlo en muro hipotético de tierra estabilizado mecánicamente (MSEW)*. Lima-Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Gerrero, G., & Gerrero, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Gobierno Regional de Moquegua. (2018). *Plan Regional De Saneamiento 2018-2021*. Moquegua: Gerencia Regional de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Hernández J., Mejía, D., & Zelay, C. (2016). *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos Para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad del Salvador*. El Salvador: Universidad De El Salvador.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Distrito Federal. Mexico: McGRAW-HILL.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). (2008). *Manual de Estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid - España: Vaquero Servicios de Publicaciones, S.L.

- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., & Ángel del Val, M. (2017). *Ingeniería de Carretera*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.U.
- Linares, R. (2019). *Estabilización de suelos arcillosos a Nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno Fundido, Chachapoyas, 2018*. Chachapoyas - Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- López, J. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante, en la localidad de Moyobamba – departamento de San Martín*. Lima - Perú: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.
- Majumder, M., & Venkatraman, S. (2021). Utilization of the Lime as Subgrade Stabilizer in the Pavement Construction. *Technical Note Civil Engineering*, 54-68. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s13369-021-06291-2>
- Neyra, M. (2020). *Efecto de la incorporación de las cenizas de caña de azúcar en subrasantes areno-limosas*. Piura - Perú: Universidad De Piura.
- Phantachang, T., Phansri, B., Nopphan, N., Chunuan, S., & Wongchinda, T. (2019). Geosynthetic Application for Subgrade Stabilization. *The 11th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being*, 35-43. [https://www.researchgate.net/publication/344068240\\_Geosynthetic\\_Application\\_for\\_Subgrade\\_Stabilization](https://www.researchgate.net/publication/344068240_Geosynthetic_Application_for_Subgrade_Stabilization)
- Quezada, S. (2017). *Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación*. Universidad de Piura.
- Rivera, J., Aguirre, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente. *Informador Técnico*, 202-226.
- Sánchez, F. (2002). *Ingeniería de Pavimentos, Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño*. Agora Editores.

Serna, J., Muñoz, J., & Suárez, F. (2017). Assessment of the active method to determine soil moisture. *Ingeniería del Agua*, 165-178.

Terrones, A. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo - 2018*. Universidad Privada Del Norte.

Universidad Europea De Madrid. (2015). *Compresibilidad de Suelos. Teoría de la Consolidación*. Universidad Europea de Madrid.

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de consistencia

<b>TÍTULO: Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021</b>				
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Método</b>
<p><b>Problema principal:</b> ¿Cómo influye el uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021?</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La incorporación de cenizas volantes en la muestra de estudio mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del suelo en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021.</p>	<p><b>Objetivos generales</b> Realizar el estudio experimental para determinar la influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Cenizas volantes <b>Dimensiones:</b> Dosificación MS+10%CV MS+15%CV MS+20%CV</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada  <b>Diseño de la investigación:</b> diseño cuasi - experimental <b>Enfoque:</b> Cuantitativo  <b>Población:</b> todas las vías de comunicación urbana de distrito de San Antonio Provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua  <b>Muestra:</b> Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio</p>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021?</li> <li>• ¿Cuáles son las características físico-mecánicas de las cenizas volantes que influyen en la estabilización de suelos?</li> <li>• ¿Cuáles son las características físico-mecánicas del suelo con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 10%, 15% y 20%?</li> <li>• ¿Qué evidencia realizar una comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes?</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021, están por debajo de los parámetros mínimos exigidos por la norma para pavimentos urbanos.</li> <li>• Las características físico-mecánicas de las cenizas volantes tienen valores significativos para su uso como agente estabilizador de suelos.</li> <li>• Las características físico-mecánicas del suelo mejoraron significativamente con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 5%, 10% y 20%.</li> <li>• Al realizar la comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes se puede identificar un suelo con</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las características físico-mecánicas del suelo base en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio - Moquegua 2021.</li> <li>• Identificar las características físico-mecánicas de las cenizas volantes que influyen en la estabilización de suelos.</li> <li>• Determinar las características físico-mecánicas del suelo con la incorporación de cenizas volantes como agente estabilizador de suelo al 10%, 15% y 20%.</li> <li>• Realizar una comparativa de las propiedades físico-mecánicas del suelo para identificar los porcentajes de variación debido a la estabilización con cenizas volantes.</li> </ul>	<p><b>Variable Dependiente</b> Estabilización de suelos <b>Dimensiones:</b> Plasticidad del suelo Grado de compactación Resistencia</p>	

	propiedades para la construcción de pavimentos urbanos.			
--	---	--	--	--

## Anexo 2: Resultados del estudio de Mecánica de suelos



**ARYU E.I.R.L**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15, C.P. CHEN CHEN**  
**Celular N° 953965527**



---

**ENSAYOS ESTANDAR Y ESPECIALES PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE CENIZAS VOLANTES EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN PAVIMENTOS**






**PROYECTO** : Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización  
: de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte  
: distrito de San Antonio- Moquegua 2021

**TESISTA** : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

**UBICACIÓN** : Distrito de San Antonio

**MUESTRA** : Material de Subrasante y Ceniza Volante



**Simón Ordoño Pauro**  
**INGENIERO CIVIL**  
**CIP. N° 64333**

Moquegua, 11 de diciembre del 2021



**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
**RUC: 20532797081**

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

ING. RESPONSABLE: S. Ordoño P.  
 Fecha: 11 de diciembre del 2021

UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

TESISTA : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

**CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA SUBRASANTE, CENIZA VOLANTE Y MEZCLA RECOMENDABLE PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

Calicata	SUCS	AASHTO	Contenido de Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% de grava	% de Arena	% de finos	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)	Gravedad específica de sólidos
----------	------	--------	--------------------------	--------	--------	--------	------------	------------	------------	-----------------------------	--------------------	------------	-----------	--------------------------------

**SUBRASANTE**

C-01	SC	A-2-4 (0)	1.72	32.85	21.93	10.92	7.3	66.0	26.7	ND	ND	ND	ND	ND
C-02	SC	A-2-6 (0)	1.96	35.30	22.04	13.26	18.1	55.9	26.0	1.906	13.85	13.51	5.3	2.601
C-03	SC	A-2-4 (0)	1.77	31.20	21.60	9.60	6.7	66.90	26.39	ND	ND	ND	ND	ND

**CENIZA VOLANTE**

M-01	SM	A-2-4 (0)	1.57	17.72	17.68	0.04	0.00	82.72	17.28	ND	ND	ND	ND	
M-02	SM	A-2-4 (0)	1.23	17.61	17.54	0.07	0.00	86.13	13.87	ND	ND	ND	ND	

**MATERIAL ESTABILIZADO: 85% C-02+15% CENIZA VOLANTE**

Mezcla Óptima	SUCS	AASHTO	Contenido de Humedad (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% de grava	% de Arena	% de finos	Densidad Máxima Seca (g/cc)	Humedad Óptima (%)	CBR (100%)	CBR (95%)	Gravedad específica de sólidos
78% C-02+22% Ceniza Volante	SC	A-2-4(0)	1.60	28.00	20.00	8.00	17.4	59.19	23.43	1.958	12.89	18.92	9.6	2.632

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333





**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
**RUC: 20532797081**

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

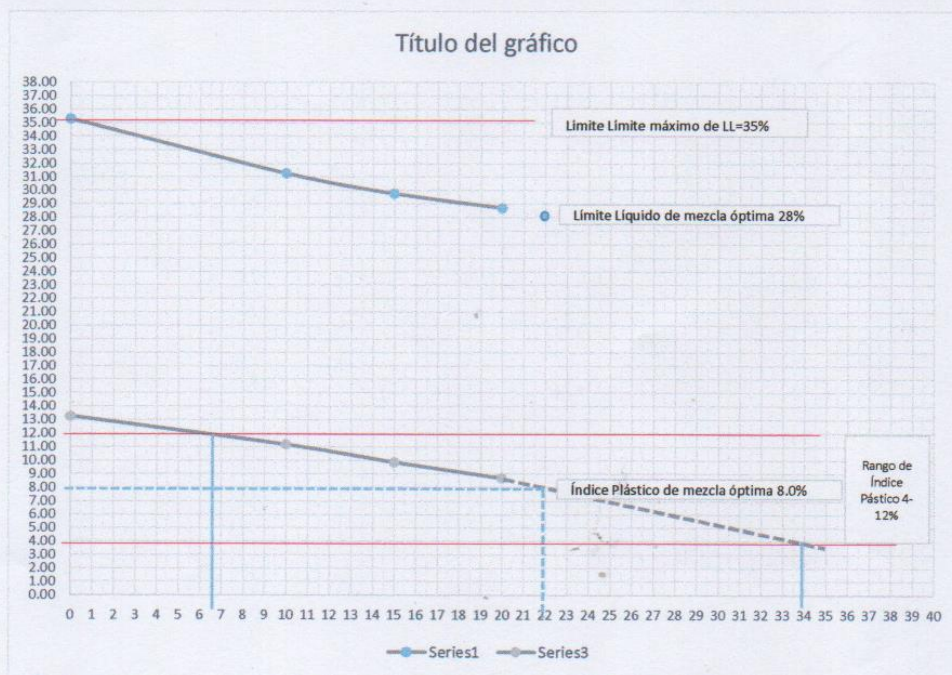
UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

TESISTA : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

ING. RESPONSABLE  
 Fecha: 11.12.2021

**CÁLCULO DE MEZCLA RECOMENDABLE PROMEDIO DE SUELOS PARA ESTABILIZACIÓN DE MATERIAL ARENA ARCILLOSA CON CENIZA VOLANTE**

Contenido de Arena arcillosa (%)	100	90	85	80
Contenido de Ceniza Volante (%)	0	10	15	20
Límite Líquido (%)	35.30	31.25	29.74	28.70
Límite Plástico (%)	22.04	20.09	19.87	20.01
Índice Plástico (%)	13.26	11.16	9.87	8.69



MEZCLA ÓPTIMA PROMEDIO: 78% Arena arcillosa+22% Ceniza Volante (P/P); LL=28.0%, IP=8.0%

MEZCLA ÓPTIMA	PESO/PESO		VOLUMEN/VOLUMEN	
	MÍNIMO	Máximo	MÍNIMO	Máximo
C-02 Arena arcillosa (SC)	66	93.5	43.4	61.5
Ceniza Volante (SM)	34	6.5	26.2	5.0
C-02 Arena arcillosa (SC)	1.9	14.4	1.7	12.3
Ceniza Volante (SM)	1.0	1.0	1.0	1.0

NOTA: Las especificaciones de gradación, límites de plasticidad y CBR, corresponden a la Norma: "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
 APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
 CELULAR N° 953965527

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

SOLICITANTE : Edgar Mamanchura Mamanchura

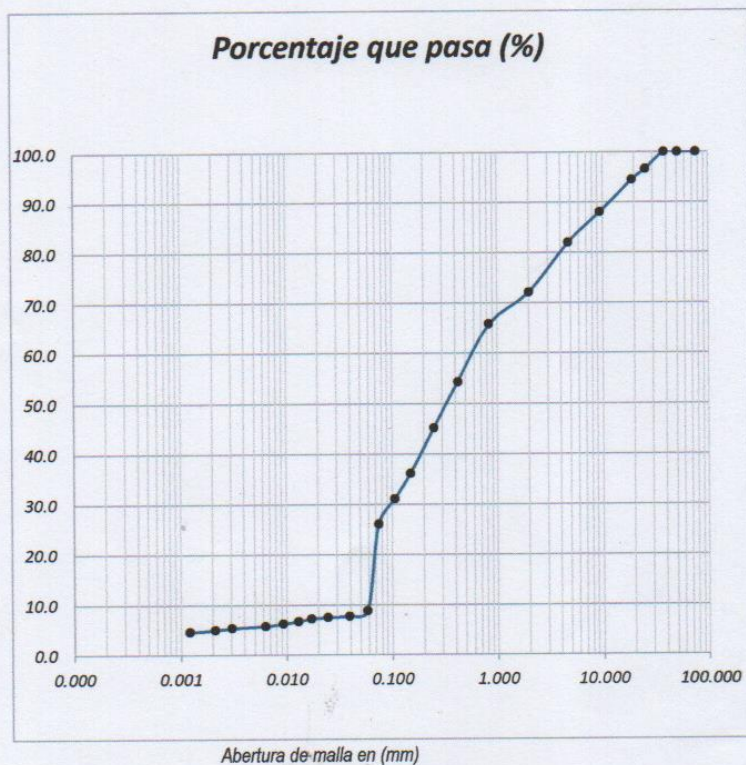
MATERIAL : Mezcla Recomendable promedio de Suelos, Pasante del tamiz N° 10

MUESTRA : 78% arena arcillosa+22% Ceniza Volante

TEC. LAB : G. Flores M.  
 ING. RESP : S. Ordoño P.  
 FECHA : 11 de diciembre 2021

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL (GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS)**

Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	% que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	96.6
3/4"	19.000	94.4
3/8"	9.500	88.0
N° 4	4.750	81.9
N° 10	2.000	72.1
N° 20	0.840	65.8
N° 40	0.425	54.3
N° 60	0.250	45.1
N° 100	0.150	36.1
N° 140	0.106	31.1
N° 200	0.075	26.0
	0.0585	8.7221
	0.0394	7.6769
	0.0246	7.4156
	0.0171	7.1647
	0.0129	6.6630
	0.0093	6.1666
	0.0063	5.7015
	0.0030	5.2782
	0.0021	4.9124
	0.0012	4.5361



  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**

**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**

APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN

CELULAR N° 953965527

PROYECTO

: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

UBICACIÓN

: Distrito de San Antonio

TESISTA

: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

MATERIAL

: Mezcla Recomendable promedio, Pasante del tamiz N° 10

MUESTRA

: 78% arena arcillosa+22% Ceniza Volante

TEC. LAB

: G. Flores M.

ING. RESP

: S. Ordoño Pauro

FECHA

: 11 de diciembre 2021

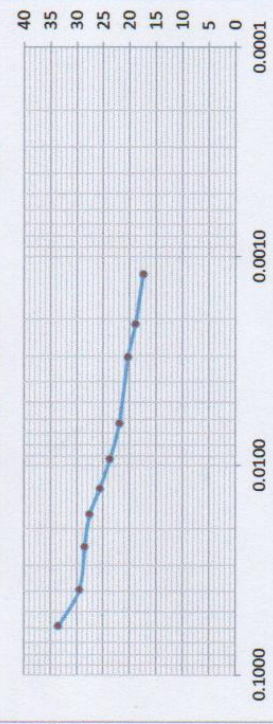
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (HIDROMETRÍA)  
ASTM D7928-17**

Tiempo (min)	Temperatura °C	Lectura del hidrómetro defloculante Cd	Corrección por agua y temperatura Ct	Lectura real del hidrómetro Rd	Lectura del hidrómetro corregido Rc	Gravedad específica de la muestra (Gs)	Corrección por gravedad específica (a)	Porcentaje que pasa (%)	Lectura del hidrómetro con agua (Cm)	Lectura del hidrómetro corregido sólo por menisco, R	Longitud del hidrómetro, L (cm)	Longitud/tiempo Lt (cm/min)	Constante (K)	Diámetro D=K √Lt (mm)
1	24.7	0.5	1.19	16.0	16.7	2.632	1.004	33.522	6.0	22.0	21.13	21.126	0.01273	0.0585
2	24.7	0.5	1.19	14.0	14.7	2.632	1.004	29.505	6.0	20.0	19.13	9.563	0.01273	0.0394
5	24.7	0.5	1.19	13.5	14.2	2.632	1.004	28.501	6.0	19.5	18.63	3.725	0.01273	0.0246
10	24.8	0.5	1.21	13.0	13.7	2.632	1.004	27.537	6.0	19.0	18.13	1.813	0.01272	0.0171
15	24.9	0.5	1.25	12.0	12.8	2.632	1.004	25.609	6.0	18.0	17.13	1.142	0.01210	0.0129
30	25.0	0.5	1.30	11.0	11.8	2.632	1.004	23.701	6.0	17.0	16.13	0.538	0.01270	0.0093
60	25.4	0.5	1.41	10.0	10.9	2.632	1.004	21.913	6.0	16.0	15.13	0.252	0.01256	0.0063
240	25.9	0.5	1.60	9.0	10.1	2.632	1.004	20.286	6.0	15.0	14.13	0.059	0.01251	0.0030
480	25.3	0.5	1.40	8.5	9.4	2.632	1.004	18.880	6.0	14.5	13.63	0.028	0.01253	0.0021
1440	24.6	0.5	1.18	8.0	8.7	2.632	1.004	17.434	6.0	14.0	13.13	0.009	0.01274	0.0012

Hora de inicio 13:28' pm

Peso de la muestra	Ws	50
Lectura del hidrómetro con agua más defloculante	Cd	0.5
Gravedad específica de la muestra	Gs	2.632
Lectura del hidrómetro con agua	Cm	6
Corrección por gravedad específica	a	1.004

**Porcentaje que pasa (%)**





**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
 APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
 CELULAR N° 953965527

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Establización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

TEC. LAB : G. Flores M.  
 ING. RESP : S. Ordoño P.  
 FECHA : 10 de diciembre 2021

UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

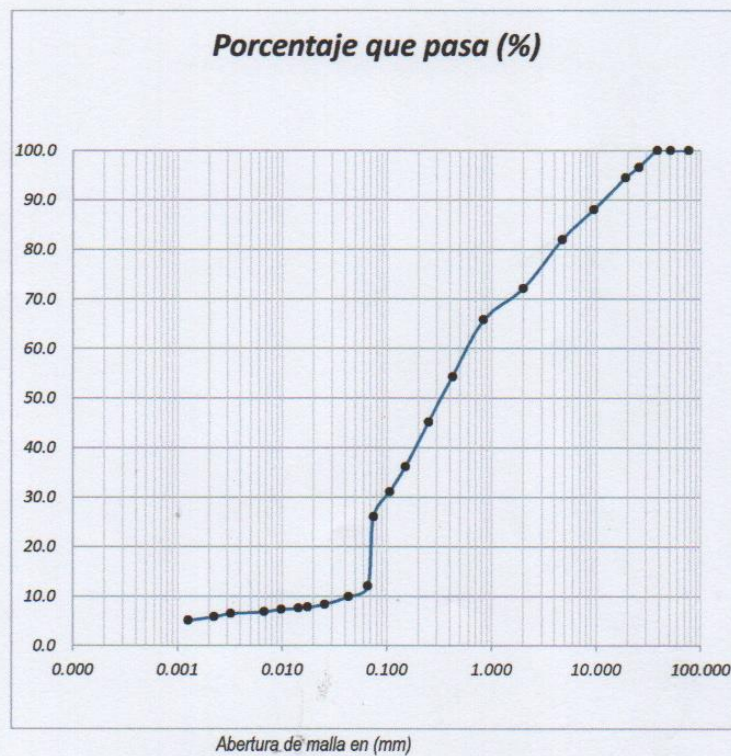
TESISTA : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

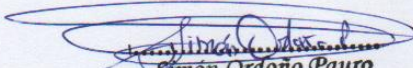
MATERIAL : Subrazante, lecho de río

MUESTRA : C-02 100%, Pasante del tamiz N° 10

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL (GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS)**

Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	% que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	96.6
3/4"	19.000	94.4
3/8"	9.500	88.0
N° 4	4.750	81.9
N° 10	2.000	72.1
N° 20	0.840	65.8
N° 40	0.425	54.3
N° 60	0.250	45.1
N° 100	0.150	36.1
N° 140	0.106	31.1
N° 200	0.075	26.0
	0.0662	11.9529
	0.0433	9.8423
	0.0255	8.2633
	0.0176	7.7370
	0.0143	7.5265
	0.0098	7.2686
	0.0067	6.7949
	0.0032	6.3949
	0.0022	5.7370
	0.0013	5.0527



  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
 APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
 CELULAR N° 963965527

PROYECTO

: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021"

UBICACIÓN

: Distrito de San Antonio

TESISTA

: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

MATERIAL

: Subrasante

MUESTRA

: C-02 100%, Pasante del tamiz N° 10

TEC. LAB

: G. Flores M.

ING. RESP

: S. Ordoño Pauro

FECHA

: 11 de diciembre 2021

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (HIDROMETRÍA)**

ASTM D7928-17

Tiempo (min)	Temperatura °C	De gráfico		Re=Rd-Cd-Ct	Gravedad específica e la muestra (Gs)	Corrección por gravedad específica (a)	Porcentaje que pasa (%)	Lectura del hidrómetro con agua (Cm)	R-Rd-hm	Longitud del hidrómetro, L (cm)	Longitud/tiempo L/t (cm/min)	Constante (K)	Diámetro D=K √L/t (mm)
		Lectura del hidrómetro con agua y defloculante Cd	Corrección por temperatura Ct										
1	24.9	0.5	1.21	22.7	2.601	1.011	45.940	6.0	28.0	27.13	27.126	0.01271	0.0662
2	24.8	0.5	1.20	18.7	2.601	1.011	37.828	6.0	24.0	23.13	11.563	0.01272	0.0433
5	24.8	0.5	1.20	15.0	2.601	1.011	31.759	6.0	21.0	20.13	4.025	0.01272	0.0255
10	24.8	0.5	1.20	14.0	2.601	1.011	29.736	6.0	20.0	19.13	1.913	0.01272	0.0176
15	25.0	0.5	1.30	13.5	2.601	1.011	28.927	6.0	19.5	19.13	1.275	0.01270	0.0143
30	25.1	0.5	1.31	13.0	2.601	1.011	27.936	6.0	19.0	18.13	0.604	0.01262	0.0098
60	25.5	0.5	1.41	12.0	2.601	1.011	26.115	6.0	18.0	17.13	0.285	0.01260	0.0067
240	26.0	0.5	1.65	11.0	2.601	1.011	24.578	6.0	17.0	16.13	0.067	0.01250	0.0032
480	25.4	0.5	1.40	10.0	2.601	1.011	22.049	6.0	16.0	15.13	0.032	0.01262	0.0022
1440	24.4	0.5	1.10	9.6	2.601	1.011	19.420	6.0	15.0	14.13	0.010	0.01276	0.0013

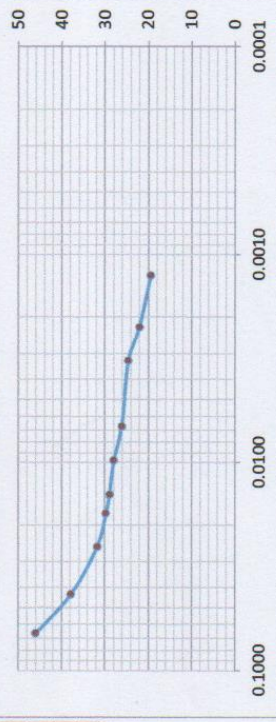
De gráfico

De gráfico

De gráfico

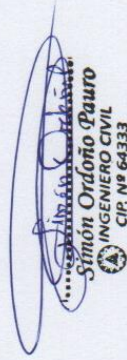
Peso de la muestra	Ws	50
Lectura del hidrómetro con agua más defloculante	Cd	0.5
Gravedad específica de la muestra	Gs	2.601
Lectura del hidrómetro con agua	Cm	6
Corrección por gravedad específica	a	1.0114

**Porcentaje que pasa (%)**



Limos  $\phi < 0.05$  mm

Arcilla  $\phi < 0.002$  mm





**ARYU E.I.R.L.**  
SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD  
APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
RUC: 20532797081

PROYECTO

: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

UBICACIÓN

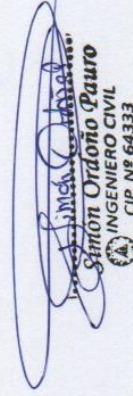
: Distrito de San Antonio  
: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

ING. RESPONSABLE: S. Ordoño P.  
Fecha: 11 de diciembre del 2021

**MEZCLA GRANULOMÉTRICA DE MATERIAL DE SUBRASANTE Y CENIZA VOLANTE**

TAMIZ	SUBRASANTE C-02		CENIZA M-01		SUBRASANTE C-02		CENIZA M-01		MEZCLA (90% C-02+10% CENIZA)		SUBRASANTE C-02		CENIZA M-01		MEZCLA (85% C-02+15% CENIZA)		SUBRASANTE C-02		CENIZA M-01		MEZCLA (80% C-02+20% CENIZA)		
	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% que Pasa	Peso retenido (g)	% Retenido	Peso retenido (g)	% Retenido	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% Retenido	Peso retenido (g)	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% QUE PASA	Peso retenido (g)	% Retenido	Peso retenido (g)	% QUE PASA	
Peso total de muestra																							
Peso de muestra Parcial																							
11/2"	100	5410.8	100	601.2	100.0	5110.2		6012		6012		4809.6		6012		1202.4		6012		6012			
1"	96.6	166	100	18	3.1	148	100.0	26	3.1	26	100.0	131	100.0	33	100.0	33	100.0	131	33	33	2.7	100.0	
3/4"	94.4	107	100	12	2.0	96	96.9	17	2.0	17	96.9	85	97.1	21	97.1	21	97.1	85	21	21	1.8	97.3	
1/2"	90.1	209	100	23	3.9	187	95.0	33	3.9	33	95.0	165	95.2	41	95.2	41	95.2	165	41	41	3.4	95.5	
3/8"	88	102	100	11	1.9	91	91.1	16	1.9	16	91.1	81	91.6	20	91.6	20	91.6	81	20	20	1.7	92.1	
N° 4	81.9	297	100	33	5.5	265	89.2	47	5.5	47	89.2	235	89.8	59	89.8	59	89.8	235	59	59	4.9	90.4	
N° 10	72.1	484.3	98.7	53.8	9.0	436	83.7	77	9.0	77	83.7	390	84.6	97	84.6	97	84.6	390	97	97	8.1	85.5	
N° 20	65.8	314.9	97.2	35.0	5.8	285	74.8	50	5.8	50	74.8	257	76.1	64	76.1	64	76.1	257	64	64	5.3	77.4	
N° 40	54.3	648.8	80.8	72.1	12.0	625	68.9	110	12.0	110	68.9	600	70.5	150	70.5	150	70.5	600	150	150	12.5	72.1	
N° 60	45.1	594.1	53.8	66.0	11.0	607	57.0	107	11.0	107	57.0	614	58.3	144	58.3	144	58.3	614	144	144	12.8	59.6	
N° 100	36.1	567.6	29.9	63.1	10.5	574	46.0	101	10.5	101	46.0	576	46.4	64	46.4	64	46.4	576	64	64	12.0	46.8	
N° 140	31.1	279.7	23.2	31.1	5.2	269	35.5	47	5.2	47	35.5	257	35.2	64	35.2	64	35.2	257	64	64	5.3	34.9	
N° 200	26	280.3	17.3	31.1	5.2	267	30.3	47	5.2	47	30.3	253	29.9	63	29.9	63	29.9	253	63	63	5.3	29.5	
							25.1				25.1		24.7			24.7					5.3	24.3	

DESCRIPCIÓN	SUBRASANTE C-02	CENIZA VOLANTE M-01
Límite Líquido (%)	35.30	17.72
Límite Plástico (%)	22.04	17.68
Índice Plástico (%)	13.26	0.04





**ARYU EIRL**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

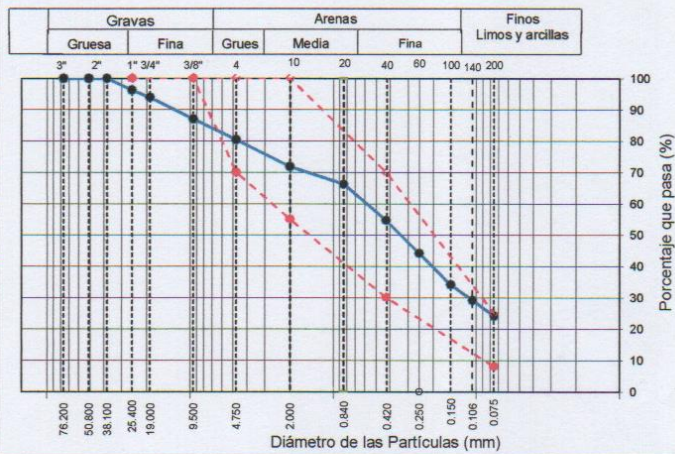
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : Mezcla (90% C-02+10% ceniza volante)  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 10/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

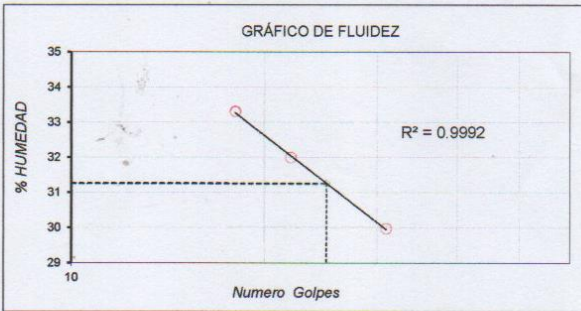
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CUADRO 11.2 GRADACIÓN F
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	96.3	
3/4"	19.000	94.0	100 - 100
3/8"	9.500	87.0	
N° 4	4.750	80.4	70 - 100
N° 10	2.000	71.9	55 - 100
N° 20	0.840	66.3	
N° 40	0.425	54.7	30 - 70
N° 60	0.250	44.2	
N° 100	0.150	34.1	
N° 140	0.106	29.1	
N° 200	0.075	24.1	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.6
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	*Secada al horno a 110 +/- 5°C*
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	31.25
LÍMITE PLÁSTICO	20.09
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.16
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	2.7
ÍNDICE DE LIQUIDEZ (IL)	-1.7
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	19.6
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	56.3
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	24.1

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa con grava

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIR. N° 64333



**ARVU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

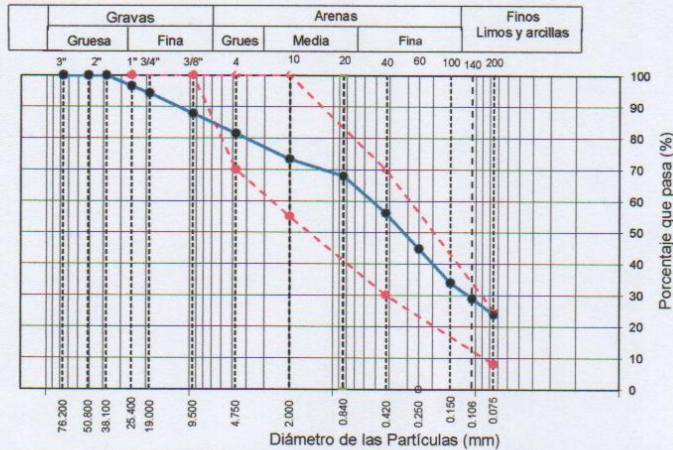
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : Mezcla (85% C-02+15% ceniza volante)  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 10/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

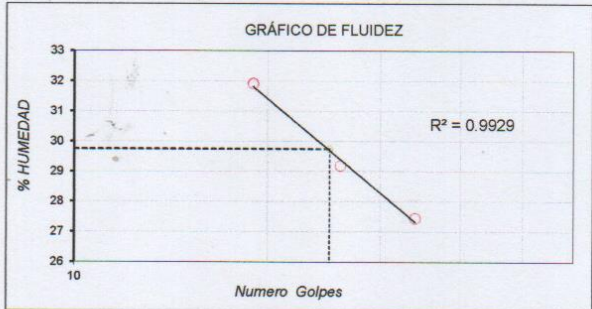
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CUADRO 11.2 GRADACIÓN F
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	96.5	
3/4"	19.000	94.3	100 - 100
3/8"	9.500	87.8	
N° 4	4.750	81.5	70 - 100
N° 10	2.000	73.3	55 - 100
N° 20	0.840	68.0	
N° 40	0.425	56.2	30 - 70
N° 60	0.250	44.8	
N° 100	0.150	33.9	
N° 140	0.106	28.9	
N° 200	0.075	23.9	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.7
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL: SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.  
 NOTAS SOBRE LA MUESTRA: Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	29.74
LÍMITE PLÁSTICO	19.87
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	9.87
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	2.8
ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)	-1.8
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	18.5
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	57.7
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	23.9

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa con grava

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. N° 64333





**ARVUEIRL**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

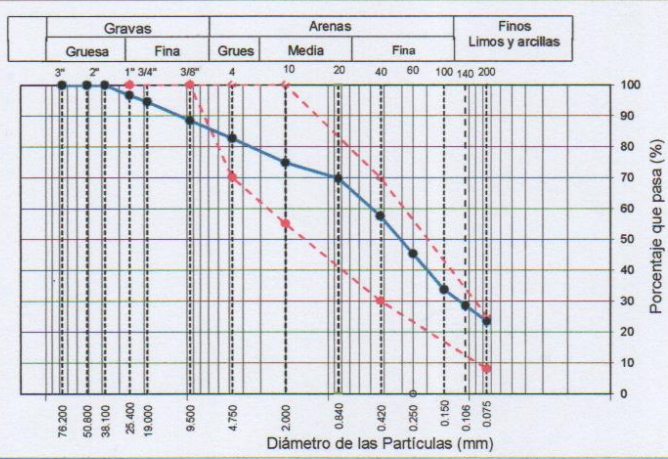
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : Mezcla (80% C-02+20% ceniza volante)  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 10/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

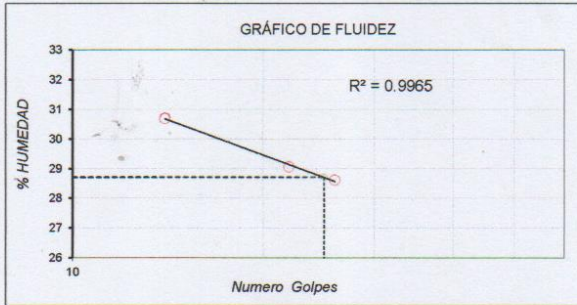
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CUADRO 11.2 GRADACIÓN F
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	96.7	
3/4"	19.000	94.6	100 - 100
3/8"	9.500	88.5	
N° 4	4.750	82.6	70 - 100
N° 10	2.000	74.8	55 - 100
N° 20	0.840	69.6	
N° 40	0.425	57.6	30 - 70
N° 60	0.250	45.2	
N° 100	0.150	33.7	
N° 140	0.106	28.5	
N° 200	0.075	23.4	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.6
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	28.70
LÍMITE PLÁSTICO	20.01
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8.69
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	3.1
ÍNDICE DE LIQUIDEZ (IL)	-2.1
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa con grava

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU EIRL**  
SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD  
APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
CELULAR N° 953965527

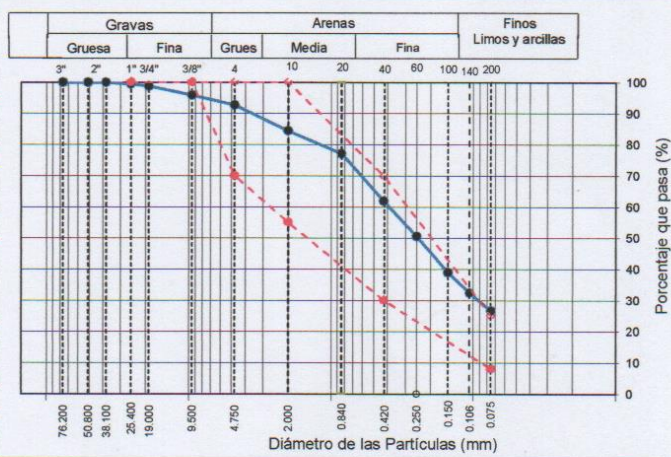
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Testista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : C-01  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 6/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

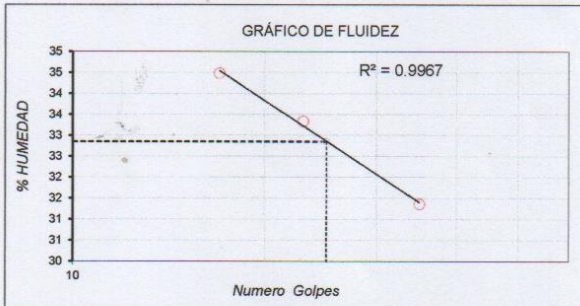
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CUADRO 11.2 GRADACIÓN F
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	99.5	
3/4"	19.000	98.8	100 - 100
3/8"	9.500	95.8	
N° 4	4.750	92.7	70 - 100
N° 10	2.000	84.5	55 - 100
N° 20	0.840	77.2	
N° 40	0.425	61.9	30 - 70
N° 60	0.250	50.6	
N° 100	0.150	38.9	
N° 140	0.106	32.4	
N° 200	0.075	26.7	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.7
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	32.85
LÍMITE PLÁSTICO	21.93
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.92
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	2.9
ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)	-1.9
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	7.3
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	66.0
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	26.7

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU EIRL**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

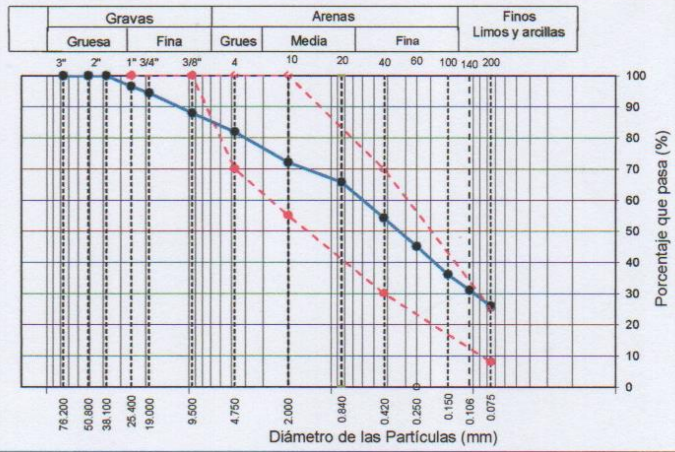
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : C-02  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 6/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

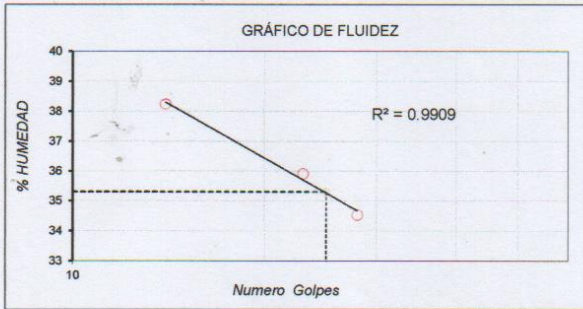
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	TABLA 301-01 GRADACIÓN A-2
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	96.6	
3/4"	19.000	94.4	100 - 100
3/8"	9.500	88.0	
Nº 4	4.750	81.9	70 - 100
Nº 10	2.000	72.1	55 - 100
Nº 20	0.840	65.8	
Nº 40	0.425	54.3	30 - 70
Nº 60	0.250	45.1	
Nº 100	0.150	36.1	
Nº 140	0.106	31.1	
Nº 200	0.075	26.0	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	2.0
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL: SC arena arcillosa con grava, de color beige a rojizo, aparentemente seco al estado natural.  
 NOTAS SOBRE LA MUESTRA: Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	*Secada al horno a 110 +/- 5°C
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	Nº4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	35.30
LÍMITE PLÁSTICO	22.04
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13.26
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	2.5
ÍNDICE DE LIQUIDEZ (IL)	-1.5
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	18.1
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	55.9
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	26.0

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-6 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa con grava

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU EIRC**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VICARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

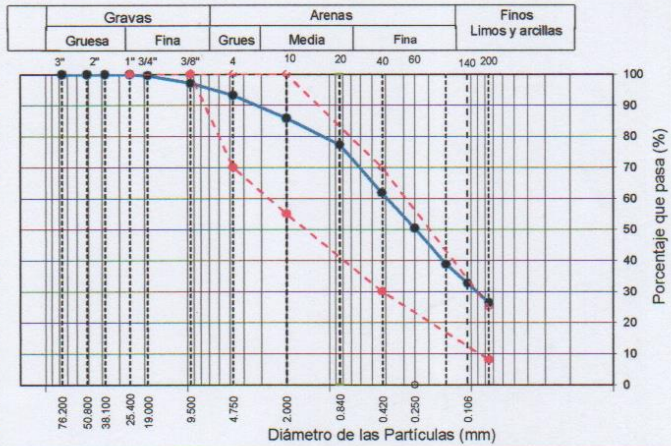
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : C-03  
 Muestra : Material de Subrasante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 6/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

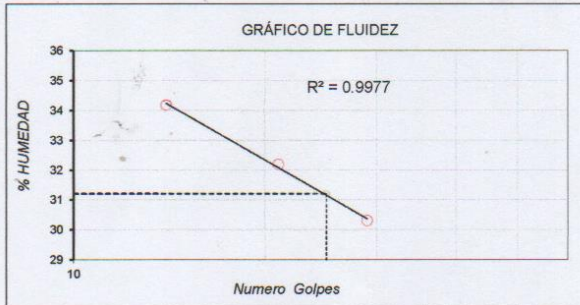
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CUADRO 11.2 GRADACIÓN F
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	100.0	
3/4"	19.000	99.6	100 - 100
3/8"	9.500	97.2	
N° 4	4.750	93.3	70 - 100
N° 10	2.000	85.8	55 - 100
N° 20	0.840	77.3	
N° 40	0.425	61.8	30 - 70
N° 60	0.250	50.5	
N° 100	0.150	38.7	
N° 140	0.106	32.7	
N° 200	0.075	26.4	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.8
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SC arena arcillosa con grava, de color beige aparentemente seco al estado natural.
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	31.20
LÍMITE PLÁSTICO	21.60
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	9.60
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	3.1
ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)	-2.1
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	6.7
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	66.9
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	26.4

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. N° 64333



**ARYU EIRL**  
SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD  
APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
CELULAR N° 953965527

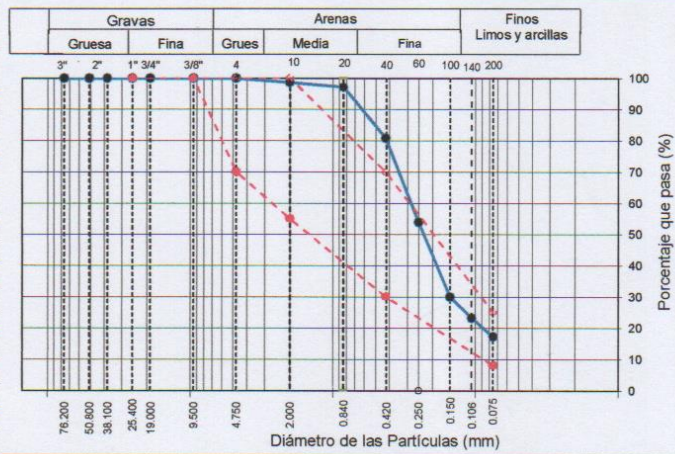
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : M-01  
 Material : Ceniza Volante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 8/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

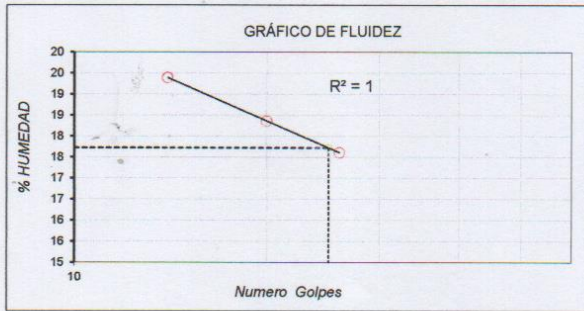
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	TABLA 301-01 GRADACIÓN A-2
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	100.0	
3/4"	19.000	100.0	100 - 100
3/8"	9.500	100.0	
N° 4	4.750	100.0	70 - 100
N° 10	2.000	98.7	55 - 100
N° 20	0.840	97.2	
N° 40	0.425	80.8	30 - 70
N° 60	0.250	53.8	
N° 100	0.150	29.9	
N° 140	0.106	23.2	
N° 200	0.075	17.3	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.6
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SM arena limosa, de color beige, aparentemente seco
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	17.72
LÍMITE PLÁSTICO	17.68
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	0.04
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	423.1
ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)	-422.1
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	0.0
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	82.7
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	17.3

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena limosa

*Simón Ordoño P.*  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIR N° 64333



**ARYU EIRL**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 CELULAR N° 953965527

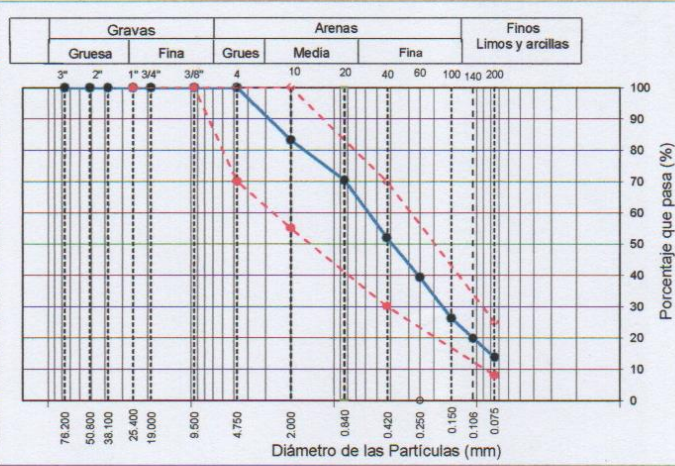
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación : Distrito de San Antonio  
 Progresiva : M-02  
 Material : Ceniza Volante

Registro N°: ARYU-SUCS-01-2021

Laboratorista: G. Flores M.  
 Ing. Responsable: Simón Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 8/12/2021

**ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS, ASTM D2487-17**

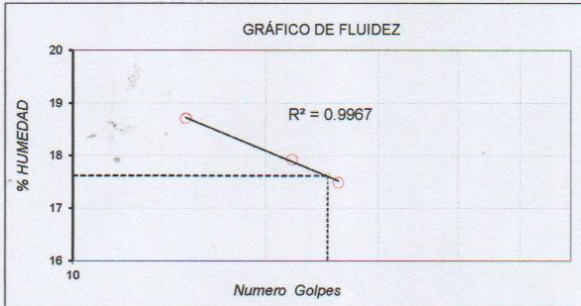
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	TABLA 301-01 GRADACIÓN A-2
3"	76.200	100.0	
2"	50.800	100.0	
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	100.0	
3/4"	19.000	100.0	100 - 100
3/8"	9.500	100.0	
N° 4	4.750	100.0	70 - 100
N° 10	2.000	83.2	55 - 100
N° 20	0.840	70.4	
N° 40	0.425	52.0	30 - 70
N° 60	0.250	39.4	
N° 100	0.150	26.2	
N° 140	0.106	19.8	
N° 200	0.075	13.9	08 - 25



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.2
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/-5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL	SM arena limosa, de color beige, aparentemente seco
NOTAS SOBRE LA MUESTRA	Sin presencia de materiales extraños ajenos al suelo

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	*Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	N°4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"



LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	17.61
LÍMITE PLÁSTICO	17.54
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	0.07
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	250.8
ÍNDICE DE LIQUEZ (IL)	-249.8
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	0.0
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	86.1
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	13.9

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena limosa

*Simón Ordoño Pauro*  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 RUC 20532797081      CELULAR 953965527

Proyecto	: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Establización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021	Registro N°:	ARYU-CBR-2021
Tesista	: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura	Muestreado por :	G. Flores M.
Ubicación de Proyecto	: Distrito de San Antonio	Ensayado por :	S. Ordoño P.
Material	: Mezcla Recomendable Promedio de Suelos (78% arena arcillosa C-02 + 22% Ceniza Volante)	Fecha de Ensayo:	11/12/2021

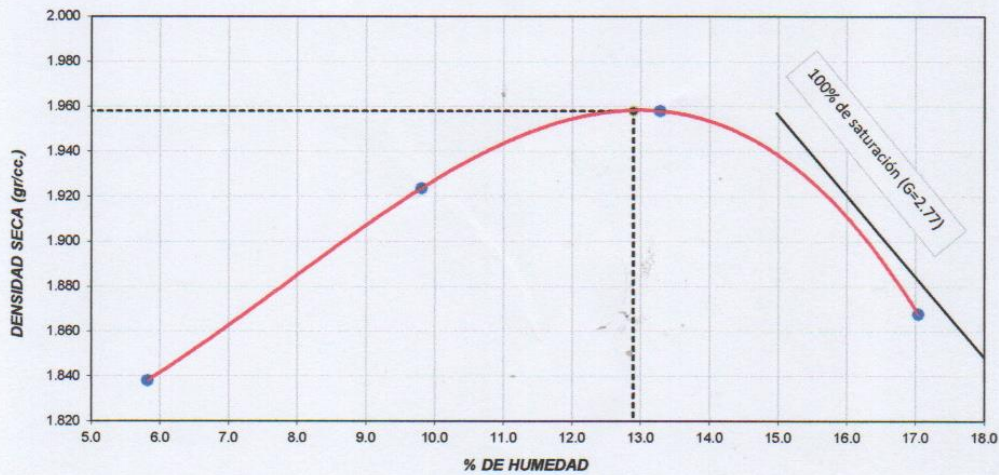
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR**  
**ASTM D1557 / ASTM D1883**

Volumen Molde	2124	cm <sup>3</sup>
Peso Molde	6477	gr.

NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
Peso Volumetrico Humedo	1.945	2.112	2.218	2.186
Contenido de agua	5.8	9.8	13.3	17.0
Densidad Seca	1.838	1.923	1.958	1.868

<b>Densidad Máxima Seca:</b>	<b>1.958 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>Contenido Humedad Optima:</b>	<b>12.89 %</b>
------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA**



**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU EIRL

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**  
 SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD  
 APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
 RUC 20532797081      CELULAR 953965527

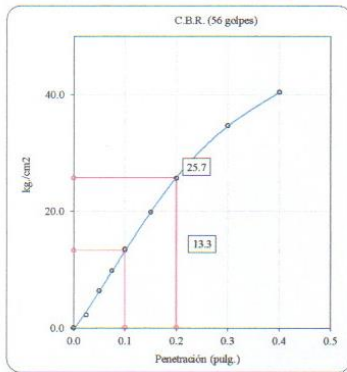
Proyecto : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021  
 Tesista : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura  
 Ubicación de Proyecto : Distrito de San Antonio  
 Material : Mezcla Recomendable Promedio de Suelos (78% arena arcillosa C-02 + 22% Ceniza Volante)

Registro N°: ARYU-CBR-2021  
 Muestreado por : G. Flores M.  
 Ensayado por : S. Ordoño P.  
 Fecha de Ensayo: 11/12/2021

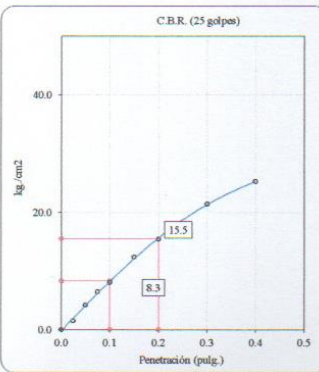
**ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA  
 ASTM D1883**

**Datos de muestra**

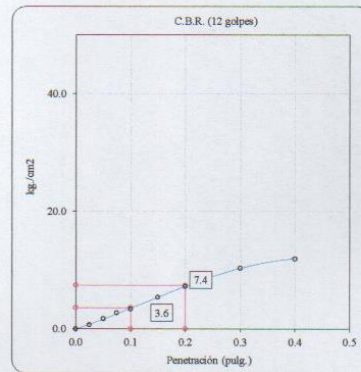
Máxima Densidad Seca : 1.958 gr/cm<sup>3</sup>      Óptimo Contenido de Humedad : 12.89 %  
 Máxima Densidad Seca al 95% : 1.860 gr/cm<sup>3</sup>



C.B.R. (0.1\*) 56 GOLPES : 18.9 %

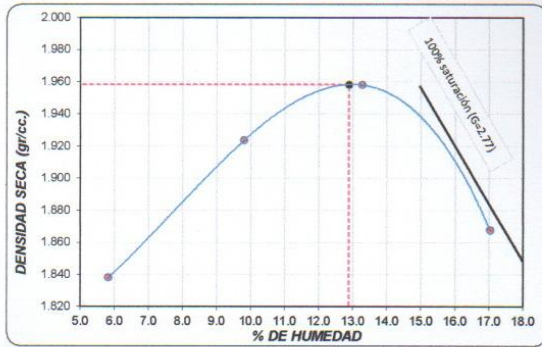


C.B.R. (0.1\*) 25 GOLPES : 11.8 %



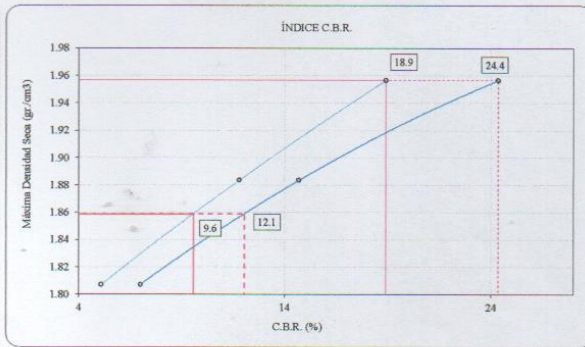
C.B.R. (0.1\*) 10 GOLPES : 5.1 %

**CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1\*: 18.9 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1\*: 9.6 %

**CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2\*: 24.4 %  
 C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.2\*: 12.1 %

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU EIRL

*Simón Ordoño Pauro*  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. N° 64333





## ARYU E.I.R.L.

SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD

APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN

RUC 20532797081

CELULAR 953965527

Proyecto	: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021	Registro N°:	ARYU-CBR-2021
Tesista	: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura	Muestreado por :	G. Flores M.
Ubicación de Proyecto	: Distrito de San Antonio	Ensayado por :	S. Ordoño P.
Material	: Mezcla Recomendable Promedio de Suelos (78% arena arcillosa C-02 + 22% Ceniza Volante)	Fecha de Ensayo:	11/12/2021

### ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883

#### CALCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde N°	1		2		3	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso suelo + molde (gr.)	12,451	12,530	12,300	12,412	12,500	12,644
Peso molde (gr.)	7,762	7,762	7,775	7,775	8,182	8,182
Peso suelo compactado (gr.)	4,689	4,768	4,525	4,637	4,318	4,462
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2,126.0	2,126.0	2,131.3	2,131.3	2,119.9	2,119.9
Densidad húmeda (gr./cm <sup>3</sup> )	2.206	2.243	2.123	2.176	2.037	2.105
Densidad Seca (gr./cm <sup>3</sup> )	1.955	1.956	1.881	1.884	1.806	1.807

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de tara (gr.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tara + suelo húmedo (gr.)	995.0	995.0	975.0	894.0	969.0	905.0
Tara + suelo seco (gr.)	882.0	868.0	864.0	774.0	859.0	777.0
Peso de agua (gr.)	113.0	127.0	111.0	120.0	110.0	128.0
Peso de suelo seco (gr.)	882.0	868.0	864.0	774.0	859.0	777.0
Humedad (%)	12.81	14.63	12.85	15.50	12.81	16.47

#### EXPANSIÓN

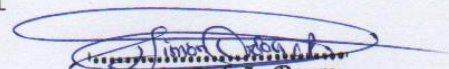
Fecha	Hora	Tiempo Hr	Dial 0.01"	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
8-Dic	14*00'00"	0	188	0.00	0.00						
9-Dic	14*00'00"	24	260	1.83	1.57						
10-Dic	14*00'00"	48	265	1.96	1.67						
11-Dic	14*00'00"	72	266	1.98	1.70						

#### PENETRACIÓN

Penetración (pulg.)	Carga Standard (kg/cm <sup>2</sup> )	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %
0.025		43	2.2			29	1.5			13	0.7		
0.050		122	6.3			80	4.2			33	1.7		
0.075		189	9.8			124	6.4			53	2.7		
0.100	70.307	260	13.5	13.3	18.9	155	8.1	8.3	11.8	65	3.4	3.6	5.1
0.150		383	19.9			238	12.4			104	5.4		
0.200	105.460	493	25.6	25.7	24.4	297	15.4	15.5	14.7	139	7.2	7.4	7.0
0.300		667	34.6			411	21.4			199	10.3		
0.400		777	40.4			486	25.3			230	12.0		
0.500													

#### OBSERVACIONES:

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU EIRL

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



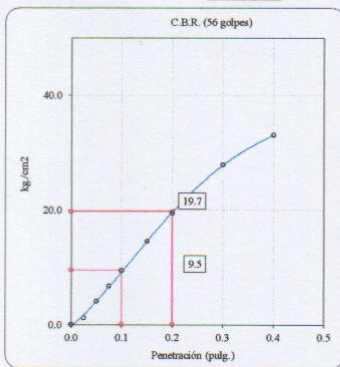
**ARYU E.I.R.L.**  
 SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD  
 APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN  
 RUC 20532797081      CELULAR 953965527

Proyecto	: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021	Registro N°:	ARYU-CBR-2021
Tesista	: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura	Muestreado por :	G. Flores M.
Ubicación de Proyecto	: Distrito de San Antonio	Ensayado por :	S. Ordoño P.
Material	: Material de Subrasante C-02	Fecha de Ensayo:	8/12/2021

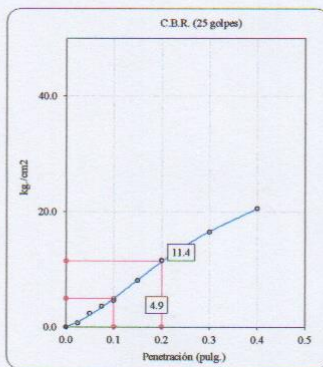
**ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA  
 ASTM D1883**

**Datos de muestra**

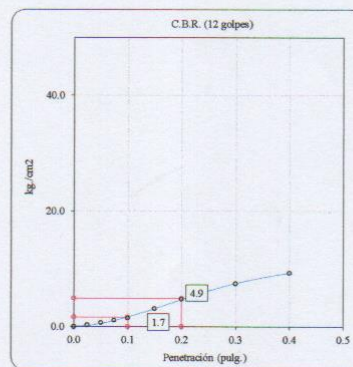
Máxima Densidad Seca	1.906 gr/cm <sup>3</sup>	Optimo Contenido de Humedad	13.85 %
Máxima Densidad Seca al 95%	1.811 gr/cm <sup>3</sup>		



C.B.R. (0.1') 56 GOLPES : 13.5 %

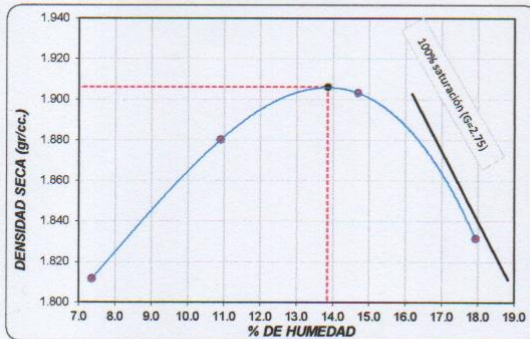


C.B.R. (0.1') 25 GOLPES : 7.0 %



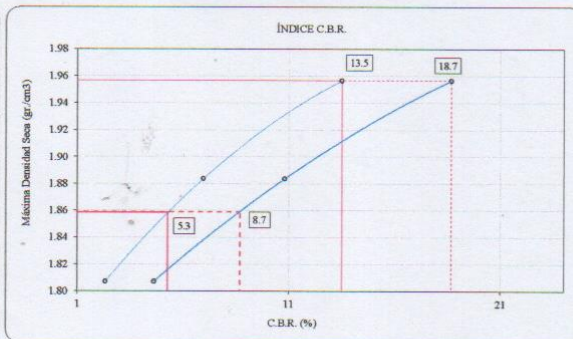
C.B.R. (0.1') 10 GOLPES : 2.3 %

**CURVA DE COMPACTACIÓN - ASTM D1557**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1':	13.5 %
C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.1':	5.3 %

**CURVA CBR Vs DENSIDAD SECA**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2':	18.7 %
C.B.R. ( 95% M.D.S.) 0.2':	8.7 %

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU E.I.R.L.

**Simon Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



## ARYU E.I.R.L.

SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD

APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN

RUC 20532797081

CELULAR 953965527

Proyecto	: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021	Registro N°:	ARYU-CBR-2021
Tesista	: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura	Muestreado por :	G. Flores M.
Ubicación de Proyecto	: Distrito de San Antonio	Ensayado por :	S. Ordoño P.
Material	: Material de Subrasante C-02	Fecha de Ensayo:	8/12/2021

### ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1883

#### CALCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

Molde N°	1		2		3	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso suelo + molde (gr.)	12,451	12,530	12,300	12,412	12,500	12,644
Peso molde (gr.)	7,762	7,762	7,775	7,775	8,182	8,182
Peso suelo compactado (gr.)	4,689	4,768	4,525	4,637	4,318	4,462
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2,126.0	2,126.0	2,131.3	2,131.3	2,119.9	2,119.9
Densidad húmeda (gr./cm <sup>3</sup> )	2.206	2.243	2.123	2.176	2.037	2.105
Densidad Seca (gr./cm <sup>3</sup> )	1.955	1.956	1.881	1.884	1.806	1.807

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso de tara (gr.)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tara + suelo húmedo (gr.)	995.0	995.0	975.0	894.0	969.0	905.0
Tara + suelo seco (gr.)	882.0	868.0	864.0	774.0	859.0	777.0
Peso de agua (gr.)	113.0	127.0	111.0	120.0	110.0	128.0
Peso de suelo seco (gr.)	882.0	868.0	864.0	774.0	859.0	777.0
Humedad (%)	12.81	14.63	12.85	15.50	12.81	16.47

#### EXPANSIÓN

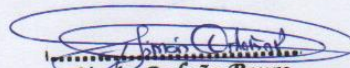
Fecha	Hora	Tiempo Hr	Dial 0.01"	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
5-Dic	8*00'00	0	190	0.00	0.00						
6-Dic	8*00'00"	24	295	2.67	2.28						
7-Dic	8*00'00"	48	315	3.18	2.72						
8-Dic	8*00'00"	72	317	3.23	2.76						

#### PENETRACIÓN

Penetración (pulg.)	Carga Standard (kg/cm <sup>2</sup> )	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	CBR %
0.025		23	1.2			13	0.7			5	0.3		
0.050		79	4.1			45	2.3			13	0.7		
0.075		130	6.8			68	3.6			21	1.1		
0.100	70.307	181	9.4	9.5	13.5	88	4.6	4.9	7.0	29	1.5	1.7	2.3
0.150		280	14.5			155	8.1			61	3.1		
0.200	105.460	375	19.5	19.7	18.7	222	11.5	11.4	10.8	92	4.8	4.9	4.6
0.300		536	27.9			317	16.5			143	7.5		
0.400		635	33.0			396	20.6			179	9.3		
0.500													

#### OBSERVACIONES:

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU E.I.R.L.

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**  
**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**  
**APV CESAR VIZCARRA VARGAS A-15 C.P. CHEN CHEN**  
 RUC 20532797081      CELULAR 953965527

Proyecto	: "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Establización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021	Registro N°:	ARYU-CBR-2021
Tesista	: Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura	Muestreado por :	G. Flores M.
Ubicación de Proyecto	: Distrito de San Antonio	Ensayado por :	S. Ordoño P.
Material	: Material de Subrasante C-02	Fecha de Ensayo:	8/12/2021

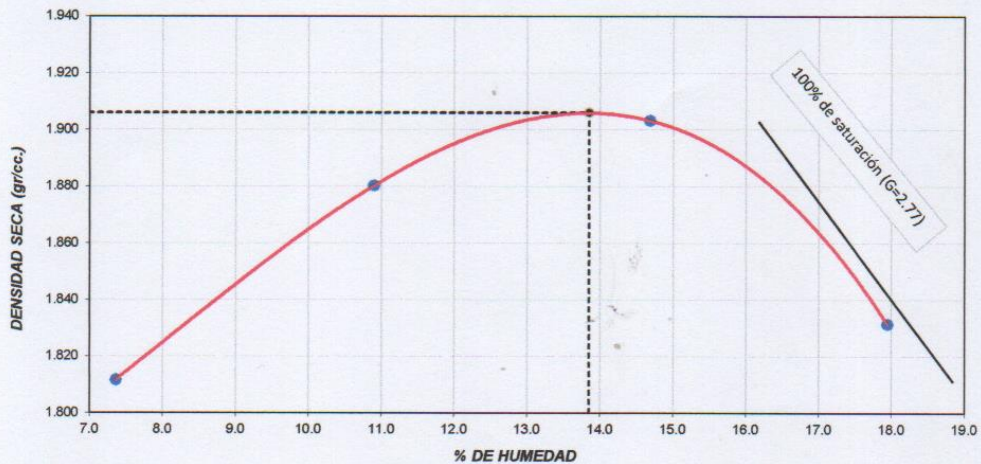
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR**  
**ASTM D1557 / ASTM D1883**

Volumen Molde	2124	cm <sup>3</sup>	
Peso Molde	6477	gr.	

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
Peso Volumetrico Humedo	gr.	1.945	2.085	2.183	2.160
Contenido de agua	%	7.4	10.9	14.7	17.9
Densidad Seca	gr/cc	1.812	1.880	1.903	1.831

**Densidad Máxima Seca:      1.906 gr/cm<sup>3</sup>      Contenido Humedad Optima:      13.85 %**

**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA**



**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra provista e identificada por el solicitante
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de ARYU EIRL

**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARVU E.I.R.L.**

**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**

APV C. VIZCARRA VARGAS CALLE JERUSALÉN A-15, C.P. CHEN CHEN

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Estabilización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

TESISTA : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

MATERIAL : Mezcla Recomendable Promedio de Suelos, Pasante del tamiz N° 10

MUESTRA : 78% arena arcillosa+22% Ceniza Volante

Laboratorista: G. Flores M.

Ing. Responsable: S. Ordoño Pauro

Fecha de Ensayo: 11/12/2021

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS**

ASTM D854-14

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Muestra representativa
PESO DE MUESTRA SECA	gr	100.0
PESO DE MATRAZ + H2O AL ENRASE	gr	350.2
PESO DE MATRAZ + MUESTRA + H2O AL ENRASE	gr	412.2
GRAVEDAD ESPECIFICO DEL SUELO	gr/cc	2.632
OBSERVACIONES : <u>Material menor tamiz N° 10</u>		

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333



**ARYU E.I.R.L.**

**SERVICIOS Y BIENES DE CALIDAD**

APV C. VIZCARRA VARGAS CALLE JERUSALÉN A-15, C.P. CHEN CHEN

PROYECTO : "Influencia del Uso de Cenizas Volantes en la Establización de Suelos para la Pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio-Moquegua 2021

Laboratorista: G. Flores M.

Ing. Responsable: S. Ordoño Pauro

Fecha de Ensayo: 11/12/2021

UBICACIÓN : Distrito de San Antonio

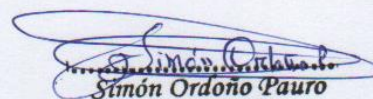
TESISTA : Bach. Ing. Edgar Mamanchura Mamanchura

MUESTRA : C-02 100%, Pasante del tamiz N° 10

**GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS**

ASTM D854-14

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Muestra representativa
PESO DE MUESTRA SECA	gr	100.0
PESO DE MATRAZ + H2O AL ENRASE	gr	349.9
PESO DE MATRAZ + MUESTRA + H2O AL ENRASE	gr	411.5
GRAVEDAD ESPECIFICO DEL SUELO	gr/cc	2.601
OBSERVACIONES : Material menor tamiz N° 10		

  
**Simón Ordoño Pauro**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 64333

### Anexo 3: Panel fotográfico de trabajo de campo

Fotografía 1: Inicio de apertura de la calicata C-01



Fuente: archivos del autor

Fotografía 2: Toma de muestras calicata C-01



Fuente: archivos del autor

Fotografía 3: Apertura de calicata C-02



Fuente: archivos del autor

Fotografía 4: Toma de muestra calicata C-02



Fuente: archivos del autor



Fotografía 5: Apertura de calicata C-03



Fuente: archivos del autor

Fotografía 6: Midiendo profundidad de calicata C-03



Fuente: archivos del autor

Fotografía 7: Muestreo de ceniza volante



Fuente: archivos del autor

Fotografía 8: Vista de ensayos granulométrico de arenas



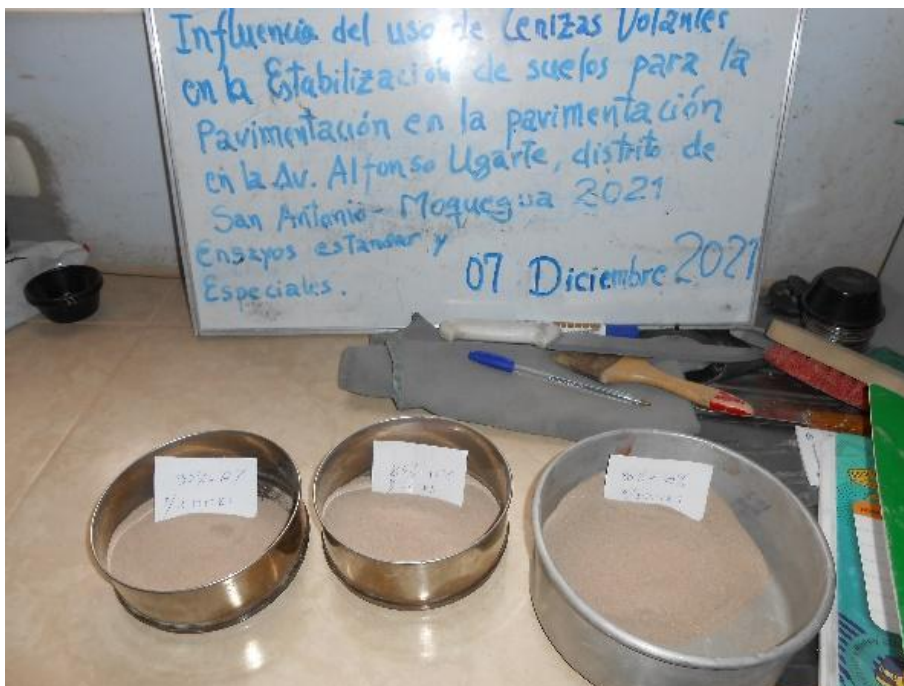
Fuente: archivos del autor

Fotografía 9: Vista de muestras de límites



Fuente: archivos del autor

Fotografía 10: Mezcla de suelos con 10, 15 y 20% de cenizas volantes



Fuente: archivos del autor

Fotografía 11: Muestras compactadas y humedades CBR



Fuente: archivos del autor

Fotografía 12: Ensayo penetración CBR



Fuente: archivos del autor