

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estabilización de un suelo arcilloso con diferentes índices de plasticidad  
por acción del estabilizador Z con polímero**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

**Loreley Adriana Gomez Morante**

**ASESOR**

**Atilio Ruben Lopez Carranza**

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

**Chiclayo, 2025**

**Estabilización de un suelo arcilloso con diferentes índices de  
plasticidad por acción del estabilizador Z con polímero**

PRESENTADA POR

**Loreley Adriana Gomez Morante**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza  
PRESIDENTE

Joaquín Hernán Rojas Oblitas  
SECRETARIO

Atilio Ruben Lopez Carranza  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedicarle este trabajo a Dios.

A mis padres Antonio Gomez y Magie Morante, ya que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado llegar tan lejos en este camino, nunca dudaron poder alcanzar mis logros y siempre confiaron en mí.

## **Agradecimientos**

Agradecerle a Dios, por darme todo lo necesario en esta vida, mis padres, mis abuelos, mi hermano, mis 3 perros y aquellos amigos que se cruzaron en mi camino, cada uno me demostró estar en las buenas y malas, siempre con su apoyo, respeto y lealtad.  
Gracias a todos.

## TESIS

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>14%</b>	<b>14%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upla.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to uncedu</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Universidad TecMilenio</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>"Proceedings of the International Conference on Computer Science, Electronics and</b>	<b>&lt;1%</b>

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>10</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>11</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>15</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>29</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>72</b>

## Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación del suelo según su I.P-----	26
Tabla 2: Operacionalización de variables -----	30
Tabla 3 Muestreo Suelo Patrón -----	32
Tabla 4 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 1 -----	32
Tabla 5 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 2 -----	32
Tabla 6 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 3 -----	33
Tabla 7 Coordenadas de Google Earth Pro -----	36
Tabla 8: Contenido de humedad en muestra patrón -----	48
Tabla 9: Resultados de análisis granulométrico-----	50
Tabla 10: Límites de Consistencia de muestra patrón-----	51
Tabla 11: Clasificación de suelo en muestra patrón -----	52
Tabla 12: Resultados en ensayo de Proctor en muestra patrón -----	52
Tabla 13: Valores obtenidos mediante las curvas de carga- penetración -----	54
Tabla 14: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-1-----	58
Tabla 15: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-2-----	59
Tabla 16: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-3-----	59
Tabla 17: Comparación de ensayo CBR con diferentes dosificaciones -----	60
Tabla 18: Comparación de ensayo de proctor con diferentes dosificaciones -----	60
Tabla 19: Comparación muestra patrón y muestra experimental -----	61

## Lista de imágenes

Imagen 1 Clasificación de suelos SUCS-AASHTO -----	20
Imagen 2: Clasificación de suelos por tamaño de partículas -----	25
Imagen 3: Curva de distribución-----	25
Imagen 4: Calle Congreso y sus colindantes-----	31
Imagen 5: Extracción calicata C-1 -----	37
Imagen 6: Extracción calicata C-2 -----	37
Imagen 7: Extracción calicata C-3 -----	37
Imagen 8: Perfil estratigráfico C-01-----	38
Imagen 9: Perfil Estratigráfico 02 -----	39
Imagen 10: Perfil estratigráfico C-3-----	40
Imagen 11: Peso de la muestra en la balanza electrónica -----	41
Imagen 12: Colocación de la muestra en el horno -----	41
Imagen 13: Realización del ensayo por medio de tamices-----	42
Imagen 14: Selección de tamices a utilizar, cada uno de diferentes tamaños -----	42
Imagen 15: Ensayo con cuchara Casagrande -----	43
Imagen 16: Realización de pequeños cilindros -----	44
Imagen 17: Peso de tara con y sin muestra-----	44

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Gráfica de contenido de humedad en muestra patrón -----	49
Ilustración 2: Curva granulométrica C-1 -----	49
Ilustración 3: Curva granulométrica C-2 -----	50
Ilustración 4: Curva granulométrica C-3 -----	50
Ilustración 5: Gráfica de límites de Consistencia de muestra patrón -----	51
Ilustración 6: Gráfica Proctor C-1 -----	53
Ilustración 7: Gráfica Proctor C-2 -----	53
Ilustración 8: Gráfica Proctor C-3 -----	54
Ilustración 9: Gráfica de CBR - C1 -----	55
Ilustración 10: Gráfica de CBR - C2 -----	56
Ilustración 11: Gráficas de CBR- C3 -----	57
Ilustración 12: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-1 -----	58
Ilustración 13: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-2 -----	59
Ilustración 15: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-3 -----	60

## Lista de anexos

Anexo 1: Calicatas señaladas -----	72
Anexo 2: Hoja técnica del estabilizador-----	73
Anexo 3: Extracción de Calicatas en el Distrito de Picsi -----	73
Anexo 4: Muestra separada para realizar Ensayos-----	73
Anexo 5: Calicata con adición -----	75
Anexo 6: Muestra en laboratorio -----	75
Anexo 7: Peso de tara con muestra-----	76
Anexo 8: Ensayos de laboratorio -----	76

## Resumen

Las carreteras no pavimentadas tienen la responsabilidad de unir pueblos y ciudades, pero les hace falta mantenimiento, de igual manera encontramos escasos protocolos para sus cuidados. Debido a esto la presente investigación tiene como finalidad encontrar una nueva alternativa para este problema, presentando a los polímeros como una gran opción de cuidado y conservación para la construcción de vías. De acuerdo a esto, la presente tesis se enfocará en el estabilizador Z con polímero, el cual al adicionarse se encargará de la mejoría de suelos arcillosos, teniendo en cuenta mejorar las propiedades físico-mecánicas de los ejemplares que se extraerán de las subrasantes arcillosas de lugar de estudio, realizándose mediante la evaluación de indicadores tales como CBR, Proctor, Límites de Atterberg, estipulación del contenido de humedad y Granulometría. Además, se sabe que este polímero es mucho más rentable a diferencia de otros estabilizadores, disminuyendo los costos en el mejoramiento del suelo arcilloso, de igual manera el importe para adquirir este producto es mínimo. Con esta propuesta presentada en la investigación, mejora notablemente el suelo arcilloso, obteniendo beneficios tanto para el medio ambiente y la economía en la construcción. Los resultados demuestran que el uso del estabilizador Z con polímero ofrece aumento de la resistencia del suelo arcilloso con diferentes índices de plasticidad. Finalmente se observa que, al adicionarse el estabilizador con polímero al suelo arcilloso, se perfeccionará la densidad seca de este suelo, se encontrará con menos vacíos, más adherido y compactado, influenciando de forma positiva en el índice de plasticidad.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, sub rasante, polímero, plasticidad

### **Abstract**

The unpaved roads have the responsibility of connecting towns and cities, but they need maintenance, likewise we find few protocols for their care. Because of this, this research aims to find a new alternative to this problem, presenting polymers as a great care and conservation option for road construction. According to this, this thesis will focus on the stabilizer Z with polymer, which, when added, will be responsible for the improvement of clay soils, taking into account the improvement of the physical-mechanical properties of the samples that will be extracted from the clay subsoil of the study site, being carried out through the measurement of indicators such as CBR, Proctor, Atterberg Limits, Determination of moisture content and Granulometry. In addition, it is known that this polymer is much more profitable than other stabilizers, decreasing the costs in the improvement of the clay soil, likewise the amount to acquire this product is minimal. With this kind of improvement presented in the research, the clay soil improves remarkably, obtaining both environmental and economic benefits in construction. The results show that the use of the Z stabilizer with polymer offers increased strength of the clay soil with different plasticity indices. Finally, it is observed that by adding the stabilizer with polymer to the clay soil, the dry density of this soil will be perfected, it will be found with fewer voids, more adhered and compacted, positively influencing the plasticity index.

**Keywords:** Soil stabilization, subgrade, polymer, plasticity

## Introducción

En la escala internacional las carreteras son esenciales debido a la ayuda que brindan para la movilización de la población y de esta manera impulsar diferentes actividades generando el incremento económico en un país, es por eso que se requieren que las carreteras se encuentren en buen estado, pero hay lugares que en su mayoría no están pavimentadas, como ejemplo no yendo muy lejos se encuentra Chile, que de acuerdo con el diario digital La Tercera, en el año 2017 hace mención el Ministerio de Obras Públicas en el país, su 60% es tierra o ripio, las cuales son carriles principales, regionales y provinciales. Y solo el 40% de las carreteras están pavimentadas, de concreto asfalto y asfalto básico. Cabe mencionar que el polvo que originan los vehículos que transitan por esa zona causa distintas molestias.

En el Perú se sabe que hay un gran porcentaje de carreteras no pavimentadas, de acuerdo a la Red Vial está conformada por 95 863 km y tan solo el 16% se halla pavimentada, así el 84% sobrante se localiza en estado afirmado o de trocha. Conforme con el Global Competitiveness Report del World Economic Forum (WEF) que esta mundialmente reconocida entre las más importantes encuestas, tiene a su cargo la comparación de competencia de los países, nos resalta que el Perú tiene su punto más débil en la infraestructura.

Durante el transcurso de los años, han existido varios tipos de problemas en las carreteras no pavimentadas, debido al deterioro del material, esto se debe a que, de manera natural, ya sea por lluvias o algún fenómeno, el deterioro de éstas son inevitables, elevando la competencia mediante la disminución de tiempos y costos para trasladar los productos. Así mismo, nacen nuevas alternativas para el mejoramiento continuo de este tipo de carreteras no pavimentadas, entre estas opciones los polímeros.

Actualmente las carreteras no pavimentadas que conectan pueblos y ciudades, carecen de mantenimiento, así mismo existen muy pocos protocolos para sus cuidados. Es por eso que los polímeros se presentan como una gran opción para su cuidado y conservación, dando a reflejar avances en sus propiedades mecánicas de suelos y materiales para la edificación de vías. En esta investigación nos centraremos en el estabilizador Z con polímero, el cual será utilizado en suelos arcilloso para su mejoría, considerando el propósito de optimar en muestras sus propiedades físico-mecánicas que recogerán de las subrasantes arcillosas de Calle Congreso, del distrito de Picsi. También cabe resaltar que este polímero es mucho más rentable a diferencia de otros estabilizadores, lo cual traerá consigo beneficios tanto para el medio ambiente y la economía en edificación.

De acuerdo a lo mencionado con anterioridad aparece una interrogante ¿De qué manera influye la aplicación del estabilizador Z con polímero, para el mejoramiento de los suelos arcillosos?

La justificación en la presente investigación viene situada en lo siguiente:

De acuerdo con la tesis, la justificación está basada en el progreso que contempla los aspectos técnicos y necesarios que van estimar la efectividad del estabilizador Z con polímero, también se analizará la contribución progresiva en las propiedades físicas y mecánicas del terreno arcilloso, obtenido eso resolveremos dificultades como capacidad portante, asentamientos, hundimientos y su mejora de vida útil, considerando así factores como límites de Atterberg, granulometría, CBR y Proctor.

Esta investigación también ayudará de manera social proporcionando a la población nuevos métodos, mejorando el estado del camino, asegurando transitabilidad correcta y la normalidad de la circulación. Determinando el nivel de impacto que tendrá las construcciones modernas en carreteras no pavimentadas, empleando este polímero estabilizador.

La innovación que trae producir esta adición, junto a su proceso de obtención y traslado, impulsará el surgimiento de nuevos empleos en las comunidades aledañas, lo cual traerá consecuencias positivas en los recursos humanos, siendo una de ellas, el incremento de ingresos económicos, mejorando la situación financiera local.

La incorporación de este polímero junto al tipo de procedimiento ayudará a que tengamos un mejor manejo ante el planeta, debido a que se usará materiales que proviene de la naturaleza y no lo contaminarán, cumpliendo con la norma MTC 1109-2004.

De igual modo se definió como objetivo general: Determinar la estabilización de un suelo arcilloso con diferentes índices de plasticidad por acción del estabilizador Z con polímero para mejorar el suelo arcilloso.

También se establecieron los siguientes objetivos específicos: Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso con diferente índice de plasticidad en la Calle Congreso-Distrito de Picsi. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso con diferente índice de plasticidad adicionándole el polímero Z con porcentajes 3 l/m<sup>3</sup>, 5 l/m<sup>3</sup> y 7 l/m<sup>3</sup>.

Determinar el porcentaje más óptimo y desfavorable de la estabilización del suelo arcilloso con diferente índice de plasticidad adicionándole el polímero Z con porcentajes 3 l/m<sup>3</sup>, 5 l/m<sup>3</sup> y 7 l/m<sup>3</sup>. Analizar el costo-beneficio de la aplicación del estabilizador Z con polímero para la estabilización del suelo arcilloso experimental óptimo y patrón.

## **Revisión de literatura**

### *Antecedentes*

#### *Antecedentes Internacionales*

Las carreteras son especialmente sensibles al producto de la expansividad de suelos gracias a la mezcla de bajas presiones sobre el suelo y monumentales superficies de área. Este análisis ha sido equiparar la efectividad de los estabilizadores de suelo procedente de polímeros accesibles comercialmente con los tratamientos estándar usados en la práctica, para evaluar la efectividad relativa de los polímeros accesibles comercialmente para moderar la conducta de contracción-hinchazón de los suelos expansivos [1]. Recientemente, diversos estudiosos han considerado la actitud de geopolimerización para mejorar la particularidad de los suelos problemáticos. Los resultados revelaron que la geopolimerización podría usarse verdaderamente para consolidar suelos puzolánicos sueltos como el NaOH-NaAlO<sub>2</sub> (Hidróxido de sodio y Solución alcalina). Se estabilizaron suelos arcillosos con geopolímero OPC (Geopolímero de ceniza volante) y se observó que las condiciones de curado en seco eran favorables para la arcilla estabilizada con geopolímero [2]. Primero se analizaron ciertos resultados de un suelo colombiano estabilizado con geopolímeros con respecto a resistencia a la compresión independiente y rigidez flexible, y luego se analizó su comportamiento de acuerdo con las normas y especificaciones de suelo cemento existente. A las mezclas seleccionadas se les realizaron ensayos adicionales de resistencia inicial, resistencia a la inmersión y resistencia a la humectación y desecación (procedimiento de eliminación de la humedad de un sólido y preservación de un ambiente seco para los materiales sensibles a la humedad.) de acuerdo con la norma y las guías técnicas existentes para suelos de cemento [3]. La contaminación del suelo adversa y la huella ambiental resultantes del uso de materiales habituales para controlar el polvo todavía no permanecen claros. Además, las aplicaciones típicas para controlar el polvo no dan un refuerzo de la capa preeminente del suelo y, por consiguiente, la estabilización contra las presiones físicas debidas al movimiento del transporte. De los materiales reiterados que se usa para la estabilización de suelos es el PVA (salmuera, betún, acetato de polivinilo). Una vez que la solución de PVA se absorbe en el suelo, los polímeros que envuelven las partículas del suelo que quedan agregadas luego del proceso de evaporación [4]. Procedimientos integrados para suavizar la contracción-hinchazón de los suelos expansivos integran tratamientos físicos y químicos. Los tratamientos físicos habituales integran la remoción y el reemplazo, la sobre excavación y la recompactación, el humedecimiento anterior y la encapsulación con barreras de geomembrana [5]. El previo humedecimiento disminuye la tendencia de un suelo expansivo a experimentar un hinchamiento

adicional importante luego de la obra al compactarse en una condición de previo hinchamiento (humedecido) a lo largo de la obra [6]. Hoy, nuestro mundo lucha en utilizar criterios de avance sustentable, incorporado transbordo sustentable, afrontando los desafíos del calentamiento global y postración de bienes naturales. Un aspecto clave del transporte sustentable es la mejora del uso de las reservas oriundas y minoración de las emisiones nocivas para la atmósfera [7]. La longitud total de las carreteras en la India ha incrementado de manera significativa. Junto con el incremento de la red vial total, además ha incrementado la longitud de las vías pavimentadas y no pavimentadas. Los senderos sin pavimentar reciben un poco menos de atención ya que fueron creados para tolerar una pequeña proporción de tráfico, empero son drásticamente relevantes para el aumento de la economía rural de la nación [8]. La sustracción de carreteras desde imágenes satelitales y aéreas de alta resolución es una de las labores relevantes para los mapas instantáneos de los sistemas de rescate de emergencia, la supervisión del tráfico en el transporte inteligente, los sistemas de conducción autónoma y la actualización en tiempo real de las redes de carreteras. Tenemos la posibilidad de citar ciertos trabajos propuestos que usaron modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar carreteras, como el modelo de aprendizaje multitarea supervisado que usa la red neuronal convolucional frecuente U-Net. Otro modelo con base en CNN para la sustracción de carreteras es el ResUnet. Este modelo se creó para sustraer carreteras usando una red U residual intensa que acorta las conexiones en medio de las capas de la red neuronal convolucional, para expandir la red U [9]. Los estabilizadores no tradicionales proporcionan alternativas a los estabilizadores tradicionales e incluyen polímeros, sales y enzimas. Las sales y las enzimas reducen la hinchazón al mejorar la composición iónica del suelo [10]. Los estabilizadores no tradicionales pueden funcionar en suelos que contienen carbonatos, sulfatos o azufre, requieren poco o ningún tiempo de endurecimiento, son menos costosos y tienen el potencial de reducir el impacto ambiental, por lo que es una alternativa atractiva a los estabilizadores convencionales [11]. Debido a su expansión impulsiva y naturaleza marchita, los tipos de suelo expansivos se consideran los más precarios y vulnerables en la industria de la construcción global [12]. [13] y [14] proponen que, como es habitual, la mayor parte del trabajo ha consistido en aplicar tratamientos químicos a estos suelos expansivos en las proporciones prescritas, con el fin de mejorar adecuadamente su resistencia y estabilidad.

### *Antecedentes Nacionales*

[15] De acuerdo al estudio de "Estabilización de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera Pucaloma - Yanayacu, distrito de Socos" el objetivo fue examinar los suelos arcillosos y la alteración que van sufriendo en volumen originada por humedecimiento de capilaridad o infiltración. Comparándose así, superficie originaria como añadido con polímero, estableciéndose características, contracción, resistencia, expansión, compactación e índices. Mediante combinaciones con cantidades de aditivo desde 12%, 10% y 8%, obteniendo en efecto incremento de la resistencia a la carga con relación al suelo originario.

[16] Conforme el "Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación" tuvo como finalidad evaluar y comparar dos moluscos triturados para ser empleados en suelos arcillosos a modo de estabilizadores por variación granulométrica (capacidad de finos inferior a 2 mm). Resultando, la concha de abanico incrementa del suelo estabilizado el CBR un 8%, MDS y vulnerabilidad al agua. Resumiendo, se acrecienta la densidad seca correspondiente a la proporción superior de valva que dispone del suelo aminorando el contenido de humedad ideal produciendo aumento del CBR del suelo.

[17] Correspondiente a la tesis "Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización san Luis de la ciudad de Abancay" su propósito es deducir la proporción inmejorable de cal para consolidar suelos arcillosos. Obteniendo que para este tipo de suelos se requiere un porcentaje de 8% de cal para restablecer el CBR incrementando 145%. Finalmente se deduce que estabilizar un suelo con cal es capaz de usarse en alguna capa del pavimento estimando la adecuada resistencia y el cumplimiento de la normatividad.

[18] Mediante el artículo "Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada" su finalidad es establecer cómo la ceniza de carbón influye en perfeccionar el suelo junto a sus propiedades, logrando en efecto que agregando las cenizas al 20% y 25%, el CBR acrecienta respectivamente en 9.9% y 10.9%, en resumen, el uso de cenizas de carbón innato es adecuado para estabilizar un suelo arcilloso.

[19] Por medio de la tesis "Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce el porongo – aeropuerto – Cajamarca" sostiene como

propósito verificar los estudios de investigación precedente con el empleo de cloruro de sodio a modo de aditivo para estabilizar. Deduciéndose, el CBR en dosificación de 2%, mejorando en 246.93%, concluyendo que la dosificación es perfecta para mejorar la subrasante en suelos arcillosos.

[20] Con respecto a la tesis ““Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)” mediante ensayos se demuestra que el uso de polímero en una grava arcillosa y suelo arcilloso, se obtiene mejor relación óptima suelo – polímero y alcanzando mayor resistencia.

[21] De acuerdo a la tesis “Aplicación del estabilizador con polímero en el incremento del valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103, tramo Puente Ullpuhuayco-Karkatera (L=14.065 kms) Abancay- Apurímac 2018” determina incrementar el valor del CBR del material que emplea de acuerdo a los porcentajes del estabilizador Z con polímero, concluyendo que un suelo con polímero se encontrará con disminución de vacíos, más adherido y compactado.

[22]Mediante la tesis “Influencia con polímeros para mejorar propiedades mecánicas de subrasante en carretera playa El Alambre a la playa El Brujo del Km 0.00 al Km 8.000. Ascope 2022” se realizaron pruebas de índice de CBR y compactación con diferentes dosificaciones, las cuales sus resultados establecen el predominio del estabilizador Z con polímero perfeccionando la densidad seca de los suelos y la capacidad de soporte en suelos arenosos.

[23]Conforme a la tesis “Aplicación del estabilizador Z con polímero para mejorar el material de afirmado en la Av. 11 de enero, Asociación Villas de Ancón, Lima, 2020” contribuye en manera positiva en el índice de plasticidad, resistencia al esfuerzo y densidad seca.

### ***Antecedentes Locales***

Debido que aún no se han realizado investigaciones semejantes en el ámbito local en relación a las particularidades mecánicas de suelos arcillosos, en carretera por acción del estabilizador z con polímero, esta investigación servirá de iniciativa y de gran importancia, ya que busca exponer una nueva propuesta de estabilización del suelo en la actualidad.

## **Bases Legales**

- **MTC E. 018 Determinación del Contenido de Humedad de un suelo**

Esta norma sostiene como fin estipular en un suelo, el contenido de humedad interpretado en proporciones, que se encuentra entre los estados líquidos y plásticos

- **Norma NTP 339.128 “Análisis granulométrico del suelo”**

Estipular la dimensión de partículas de un suelo en estudio por medio de los diversos tamices para ser empleados con los polímeros en su diseño de mezcla y poder comparar productos en la estabilización.

- **Norma NTP 339.134 “Método para la clasificación de suelos con propósitos de Ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)”**

Esta normativa, define el método de clasificación de suelos orgánicos y minerales, nombrándolos mediante el uso de distintivos del grupo que se componen en prefijo y en sufijo. Prefijo señala el tipo de suelo y el sufijo señala sus ramificaciones que equilibran las propiedades señalando el tipo de suelo: arenas, limos, gravas, arcillas, suelos turba y orgánicos, de igual manera la clasificación de la mezcla entre ellos.

- **Norma NTP 339.129 “Límite Líquido y Límite Plástico de suelo”**

Determinar su caracterización en los suelos y comportamiento

- **Norma NTP 339.145 “Ensayo de CBR de suelos compactados en el laboratorio”**

Estipula del suelo las características mecánicas como es capacidad a resistencia, la cual hallaremos en hacer la mezcla con el polímero y luego analizar los resultados.

- **Norma ISO 11014-1 “Seguridad, salud y aspectos de protección”**

Cada polímero debe cumplir con la norma de seguridad ambiental, ya que es importante para no contaminar el medio ambiente.

- **Norma MTC 1109 “Norma técnica de estabilizadores químicos”**

Cada uno en los estabilizadores debe cumplir parámetros dados en esta norma puesto que estaremos expuestos al estabilizador.

## Bases Teóricas

### 1. Suelos

A nivel global encontramos que el suelo es el componente de edificación más cuantioso y con mayor empleo. Su definición se basa de acuerdo al campo científico desde que se vea, para el geólogo, es el elemento intemperizado en el espacio que se localiza con materia orgánica próxima a la superficie, para el agrónomo es la porción externa de la corteza apta de mantener la vida vegetal [24]. Son diferentes definiciones que podemos encontrar, pero desde un punto global se define como manto superficial de la Tierra, el cual está constituido por partículas líquidas y gaseosas que habitan los espacios entre sí [25].

Los suelos se califican por sus propiedades mecánicas y físicas, procedentes en elementos prevalecientes de sus componentes, ya sea forma, forma, color, textura y peso de sus partículas.

Clasificación de suelos:

Conforme a sus características se evalúa la conducta de los suelos y se clasifican debido por la granulometría y su consistencia. Conforme con el Manual de Carreteras del MTC 2014, se formula dicha clasificación en relación a la norma AASHTO y SUCS. Su principal objetivo es predecir la conducta aproximada, que desde el enfoque geotécnico ayudará a determinar los sectores homogéneos [26].

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

*Imagen 1 Clasificación de suelos SUCS-AASHTO*

*Fuente: US Army Corps of Engineers*

### 2. Suelos arcillosos

Su calidad de este tipo de suelos ( sorprendentemente fino ) establece características muy especiales, tales como: la facultad de intercambiar iones, alteración de su composición interna, los cambios físicos de su estructura laminar son revocables y posee una gran relación con el agua, produciendo que se hinche hasta llegar 15 veces el volumen original, contando con un alcance de humedad muy extenso en donde actúa de manera plástica, logrando modelar figuras y volúmenes, influenciados por un tratamiento térmico [27].

Características:

- **Plasticidad:** Propiedad que tienen estos tipos de suelos para alterar su consistencia en función a la humedad. Los factores que se ven afectados son: la capacidad de agua, forma, dimensión y estructura de moléculas, etc.
- **Hinchamiento:** Es el incremento de la magnitud de materia del suelo provocado por filtración de agua. El fenómeno contrario es la retracción, donde decrece el volumen generado de la expulsión de agua.
- **Superficie específica:** Correlación entre el espacio de una partícula del suelo y la masa. En una comparación los suelos arcillosos tienen una superficie específica alta a con respecto a los suelos granulares.
- **Tixotropía:** Las propiedades mecánicas de las arcillas se disipan al ser amasadas, actúan como líquidos, no obstante, se restablecen al dejarlas en reposo.

### **3. Carreteras no pavimentadas**

Se denomina así al espacio que está constituido por afirmado o gravas, suelos afianzados o terreno natural. El factor que debe tener cuidado en este tipo de carreteras es el control de polvo, ya que se produce debido al desprendimiento de agregados gruesos y suaves debido al exceso de circulación. El exceso de polvo emitido en el camino que se declara muy cambiado, dependiendo del área (lluvia o seca), al volumen de tráfico que soportan y la calidad del material que se afirma. Es importante que los profesionales responsables, analicen y apoyen la aplicación de aditivos de control de polvo, dado que es emitido por el tráfico peligroso para la producción agrícola y la delegación sostenible del patrimonio cultural, el análisis debe combinar los períodos de servicio [28] .

Se clasifican conforme a las capas superiores o su superficie de rodadura:

- **Carreteras tierra:** Formadas por suelos naturales y grava tratada.
- **Carretera tipo gravosa:** Formadas por un manto con material granular sin producir.
- **Carretera afirmada:** Poseen una superficie de rodadura, soportan tráfico vehicular.
- **Carretera con superficies estabilizadas:** Formadas de material por fuente técnica [29].

### **4. Estabilización del suelo**

Este proceso consiste en acoplar el suelo con materiales específicos, restaurando sus propiedades las cuales cumplen con los requisitos técnicos específicos. El propósito de estabilizar el suelo es mejorar su comportamiento y efectividad de las propiedades de este. Estableciéndose como la evolución para perfeccionar sus características a través de un

procedimiento mecánico e incluye productos químicos, para garantizar resistencia mecánica y durabilidad en propiedades de suelo a lo largo del tiempo [30].

Conforme al Manual de carreteras: suelos y pavimentos, expone seis principios geotécnicos con el objetivo necesario de estabilizar o no una subrasante [26], los cuales son:

- Es obligatorio estabilizar una subrasante con valor de CBR inferior al 6% (estimado como escaso o insuficiente), incluye áreas localizadas húmedas o blandas. Su propósito basado en el tipo de suelo es estipular su técnica de mejoramiento óptimo y la economía del trabajo.
- De acuerdo si la subrasante es limosa o arcillosa y se encuentre riesgo que los recubrimientos granulares del pavimento lo impurifiquen con fracciones finas, se necesitará calcular una capa de materia anticontaminante con un volumen límite de 10 cm geotextil.
- Es necesario que la superficie de la subrasante se encuentre mínimo unos 0.60m sobre el nivel freático para que sea excelente (CBR >20%); para subrasante buena - regular unos 0.80m (6% < CBR < 20%), para subrasantes pobres e inadecuadas unos 1.00m y 1.20m (CBR < 6%).
- Con respecto a las zonas más allá de los 4000 msnm, se determinará su vulnerabilidad del suelo a congelamiento, que se encuentra afectada por el fondo del nivel freático. Aptos en suelos limosos y los tipos, comprenden más del 3% de su carga con tamaño menor a 0.02mm del material.
- Para precisar la categoría de estabilización, se necesita saber el tipo de suelo existente.
- Se consideran ciertos factores para escoger el método de estabilización ideal son: clase de suelo y su función correspondiente; tipo, experiencia, disponibilidad del aditivo estabilizador, economía.

## 5. Polímeros

Al comienzo de la década de 1980, el profesor Joseph Davidovits dio forma a la palabra "Geopolymere" con el objetivo de describir los polímeros inorgánicos de los aluminosilicatos. Los geopolímeros se originan del resultado de la reacción química entre los aluminos sólidos y una solución acuosa de silicatos alcalinos o hidróxidos a temperatura ambiente o ligeramente más alta, obteniendo como resultado nuevos aluminos alcalinos [31].

Los polímeros se determinan como macromoléculas basadas en unidades químicas (monómeros) las cuales se duplican en lo extenso de la cadena [22].

El estudio de su estructura se evalúa en estructura química que hace referencia a la fabricación individual de molécula y estructura física a la jerarquía de las moléculas vinculadas a demás.

Clasificación de acuerdo a su origen:

- Polímeros naturales: originados de manera directa del campo animal o vegetal, ejemplo: caucho natural, la celulosa, el almidón, etc.
- Polímeros sintéticos: aquellos polímeros naturales variados por procesos químicos, ejemplo: la nitrocelulosa.

Según sus propiedades físicas:

- Polímero Elastómeros: Son aquellos polímeros flexibles, sustituidos por caucho, por lo regular conformado de oxígeno, silicio, carbono e hidrógeno silicio; empleados sobre todo adhesivos, juntas y piezas flexibles.
- Polímero Termoplásticos: Se comportan como plástico modificable en temperatura ambiente si conservan punto de fusión alto y encuentren suficientemente frío, se le pueden otorgar distintas formas debido a variaciones en la temperatura, ejemplo: poliestireno (PS), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), metacrilato de polimetilo (PMMA), polietileno polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), éter de glicol de polietileno (PET).
- Polímero Termoestables: Estos polímeros de ninguna manera se unen ni separan con resistentes enlaces covalentes que otorgan propiedades tal temperatura, solventes, resistencia al impacto e incorporación de gases.

Ventajas al usar los polímeros:

- Mejoría de la capacidad portante y el CBR.
- Crecimiento en densidad debido a la compactación.
- Mayor vida útil a las carreteras.
- Periodos más largos por lo tanto es más económico el mantenimiento de vías.
- Disminución del polvo en la zona.

## **6. Estabilizador Z con polímero**

Formado por polímeros ya que su eficacia cambia según el tipo de suelos, consiguiendo efectos deseables en suelos arcillosos. Mejoramiento en estabilidad, esto es la resistencia, y cohesión. Como ventaja principal: minorar el extravío de material afirmado y suprimir dificultades producidos por polvareda [23].

Cumple con la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos, eso quiere decir:

- La incorporación al suelo en caminos, afirmado o regados en superficie proporciona que dicha superficie esté más impermeable, compacta y no tóxico.
- Se obtiene la estabilización, al mantener compactas y unidas las partículas finas alrededor de las partículas gruesas.
- El efecto del estabilizador Z con polímero, cambia de acuerdo al uso sobre el afirmado correctamente graduado o suelo natural.
- En caminos afirmados, se obtendrá como resultado el mejoramiento de la estabilidad de este, reflejado en la resistencia, cohesión y compactación de la capa un tanto voluminosa del material regulado.
- El volumen del material estabilizado proporciona resistencia a la alta circulación.
- El empleo que realiza está sujeta al tipo de suelo, cuando es arenosos y pedregosos el resultado será nulo, sin embargo, en suelos arcillosos el resultado será óptimo, permitiendo en escasez de lluvias, tránsito de vehículos.

#### Ventajas del polímero sintético Z

- Las vías tratadas con este estabilizador, establece una medida regular a través de superficies de rodaduras suelta, el pavimento asfáltico y polvoriento. Se confirma desde un punto de vista de comportamiento y costo.
- Dará solución al exceso de polvo, que se origina al desprenderse por actividad del tráfico, ocasionando incomodidad en pasajeros, incrementando el peligro de accidentes y material extraviado.
- Verificándose de manera anual, la pérdida de material afirmado, llegando a ser por kilómetro de carretera más de 20 mts, ancho de 6 mts y circulación diaria de 100 automóviles, por eso el empleo de este nuevo disminuirá notable y drásticamente la pérdida junto con el tiempo, excluyendo problemas causados por la polvareda.
- Se sabe que la cimentación del afirmado en caminos alcanza más rápido una compactación, por lo tanto, se tendrá menos pasadas de rodillo, aun así, una densidad superior y óptimas condiciones de trabajo.

#### Aplicación del polímero sintético Z:

- La incorporación del estabilizador, al agua del afirmado en el transcurso de la construcción, obtendrá un afirmado consolidado, libre de polvo y mayor densidad con menor trabajo.
- Se recomienda que, al suelo compactado, se sature con estabilizador Z con polímero.
- Rendimiento: un estabilizador Z con polímero + cuatro partes de agua.

## 7. Análisis Granulométrico

Describe el reparto de las proporciones que posee el suelo por medio del tamizado, con el fin de estipular la dimensión de los diversos elementos compuestos, ordenando en consideración de su tamaño:

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Imagen 2: Clasificación de suelos por tamaño de partículas

Fuente: Manual de Carreteras del MTC 2014

Se utiliza un orden reglamentado de tamices de malla cuadrangular y abertura descendente, mediante estos pasa una pequeña proporción seca de materia, permaneciendo retenido en cada tamiz de fracción de materia, cuyas partículas posean el volumen superior de apertura de dicho tamiz. [32]. Acorde a la norma técnica NTP 339.128, se realizará este análisis para establecer las diversas magnitudes de las partículas mediante los tamices.

Instrumentos:

- Balanza, susceptible a 0.01 g con el fin de determinar el material que pasa y el que se encuentra conservado en cada malla.
- Tamices, elegidos conforme al tamaño empleado.
- Horno apto en conservar la temperatura equivalente a 110° C.
- Amotinador de tamices, manejable

Con respecto al MTC, este ensayo tiene como finalidad determinar de manera cuantitativa la asignación de la magnitud de partículas del suelo. Para llegar a esto, se debe obtener la curva granulométrica, mediante este ensayo por tamizado (MTC E107) o a través del hidrómetro (MTC E109). Concluiremos si el suelo se encuentra bien o mal graduado y la distribución es continua o discontinua.

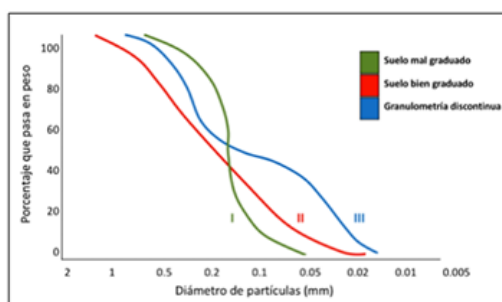


Imagen 3: Curva de distribución

## 8. Límites de Atterberg

Son aquellos límites plásticos y líquidos conocidos como límites Atterberg que se utilizan internacionalmente para la clasificación del suelo. Se dice que cuando posee un índice de plasticidad (I.P), exacto a cero, el suelo no es plástico; si el índice es inferior a 7, el suelo tiene baja plasticidad; en el momento que el índice plástico es de 7 a 17, el suelo es moderadamente plástico, y si el índice de plasticidad en el suelo superior a 17, el suelo es muy plástico [33].

### A. Límite Líquido

Determinado como volumen de humedad interpretado en proporción relacionando el peso seco de la muestra, donde el suelo varía de un estado plástico a un estado semilíquido [34].

### B. Límite Plástico

Capacidad de humedad limitado entre condiciones plásticas y del suelo semi -sólido. Se encuentra establecido en ASTM y en los estándares británicos, son pruebas en las que se registran pequeñas cantidades de suelo por presión manual y en frecuencias reguladas, para hacer un rollo de 3.2 mm de diámetro, lo que debe alcanzar la humedad donde este desplazamiento presenta brechas y no puede espirar [35].

### C. Índice de Plasticidad

Es la proporción del agua del suelo, indicado según una relación de la masa seca, donde adentro se encuentra en estado plástico [36].

De acuerdo con el Manual de Carreteras, según su apartado de Suelos y Pavimentos señala clasificación de suelos según su I.P con sus respectivas características.

INDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERISTICAS
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≥ 20 IP > 7	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Tabla 1: Clasificación del suelo según su I.P

Fuente: Manual de Carreteras del MTC 2014

## 9. CBR (Valor de Soporte California)

Precisa que el suelo y los agregados sean calificados de tolerar las cargas externas, en el laboratorio verificando este ensayo mediante la compactación. Conforme al efecto es que se pueden estabilizar o no el suelo. [37]

El CBR del suelo es la carga unitaria respectivo a 0.1” o 0.2” de penetración, simbolizada % en su valor estándar correspondiente. De igual modo, calcula la resistencia al corte de un suelo en un estado de humedad y densidad controlada [38].

### **10. Contenido de Humedad**

Correlación del peso de agua incluida a la par y peso de su fase sólida. Se expresa de la siguiente manera como un porcentaje  $w(\%) = \frac{W_w}{W_n} \times 100$ . Al natural, la humedad del suelo depende de límites muy amplios y determinación de la muestra de la capacidad de agua del suelo, para obtener  $W_m$  (peso de muestra inicial) [21].

Instrumentos:

- Balanza, susceptible a 0.01 g para determinar el material que pasa y el que se encuentra conservado por malla.
- Horno que mantiene la temperatura equivalente de  $110^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ .
- Taras, adecuados para resistir la corrosión.

Procedimientos:

- Se extrae una muestra de la cantera, guardándose en laboratorio
- Este ensayo se realizará de manera inmediata
- Establecer e inspeccionar el peso de la tara
- Emplear medida precisa en la tara y pesar
- Establecer e apuntar el peso de la tara junto al suelo húmedo
- Colocar al horno
- Sacar al otro día y finalmente pesar la muestra seca

### **11. Relación humedad-densidad**

Esta relación se halla en un suelo para conocer el grado de compactación y deformabilidad necesaria para cumplir con las especificaciones. En un molde de suelo compactado por medio un pisón de masa normalizada, energía específica de compactación y caída libre.

### **12. Peso Específico del suelo**

Correlación del peso y volumen, su estimación requiere de humedad, los huecos de aire y el peso específico de las partículas sólidas.

### **13. Compactación en suelos**

Conforme con la ingeniería geotécnica, es el desarrollo mediante los esfuerzos adaptados al suelo provocan una condensación cuando el aire traslada de los poros en medio de los granos del suelo. Al momento que se utiliza el esfuerzo que ocasiona una densificación debido al agua (u otro líquido) que se mueve en medio de granos del suelo, origina compactación, no consolidación [39].

El propósito del estudio de Proctor establece la medida correcta del agua en un suelo que tolera óptima compresión para una cierta energía. La porción de muestra del suelo seco se comprime con energía, humedad fija y calcula la densidad seca. Se efectúan observaciones semejantes incrementando de manera progresiva la humedad, representándose en una curva, la cual comprende un máximo para una cierta humedad llamada “Proctor”.

## **Materiales y métodos**

### **Tipo y diseño de investigación**

#### **Tipo de la Investigación**

La siguiente investigación se define como experimental, tipo comparativo. Usando la ciencia como base fundamental, ya que se tiene diversas variables, las cuales nos llevará a verificar nuestras hipótesis, determinando las causas y consecuencias. Genera resultados y datos cuantitativos que pueden calcularse científica y estadísticamente. Por lo tanto, se hará una variación intencional en las variables independientes para comparar el resultado que tiene con las otras variables dependientes, es por eso que tenemos como objetivo principal lograr la estabilización del suelo (variable dependiente) mediante la modificación de porcentajes del polímero Z en un suelo arcilloso (variables independientes) y así verificar si nuestra investigación tuvo éxito.

#### **Diseño de la Investigación**

Es la experimentación verdadera, existe tres requisitos que se tiene que cumplir en este diseño. Primordialmente usar grupos de control, de manera secundaria contar con más de un grupo experimental y finalmente es necesario que el muestreo sea al azar.

#### **Variables**

##### **Variable independiente**

Estabilizador Polímero Z

##### **Variable dependiente**

Estabilización del suelo

#### **Hipótesis-Operacionalización de variables**

##### **Hipótesis**

La aplicación del estabilizador Z con polímero, mejora el comportamiento en la estabilización del suelo arcilloso.

## Operacionalización de variables:

VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADOR	TECNICA E INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE	ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO	PROPORCIONES A UTILIZARCE ( 3.8 l/m <sup>3</sup> , 4.5 l/m <sup>3</sup> , 5.7 l/m <sup>3</sup> )	CAPACIDAD DE RESISTENCIA	NTP 339.145 - ENSAYO DE CBR
			DETERMINAR LA DENSIDAD SECA MÁXIMA DE UN SUELO Y LA HUMEDAD ÓPTIMA	NTP 339.142 - ENSAYO DE PROCTOR
			TAMAÑO DE PARTICULAS	NTP 339.128 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
			CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y COMPORTAMIENTO	NTP 339.129 - LÍMITES DE ATTERBERG
			DETERMINAR LA CANTIDAD DE AGUA	NTP 339.127 - CONTENIDO DE HUMEDAD
DEPENDIENTE	ESTABILIZACIÓN DEL SUELO	PROPIEDADES FÍSICAS	TAMAÑO DE PARTÍCULAS	NTP 339.128 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
			CLASIFICACIÓN DE SUELO	NTP 339.134 / NTP 339.135 - SUCS / AASHTO
			DETERMINAR LA CANTIDAD DE AGUA	NTP 339.127 - CONTENIDO DE HUMEDAD
			CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y COMPORTAMIENTO	NTP 339.129 - LÍMITES DE ATTERBERG
		PROPIEDADES MECÁNICAS	CAPACIDAD DE RESISTENCIA	NTP 339.145 - ENSAYO DE CBR
	DETERMINAR LA DENSIDAD SECA MÁXIMA DE UN SUELO Y LA HUMEDAD ÓPTIMA	NTP 339.142 - ENSAYO DE PROCTOR		

Tabla 2: Operacionalización de variables

Fuente: Propia

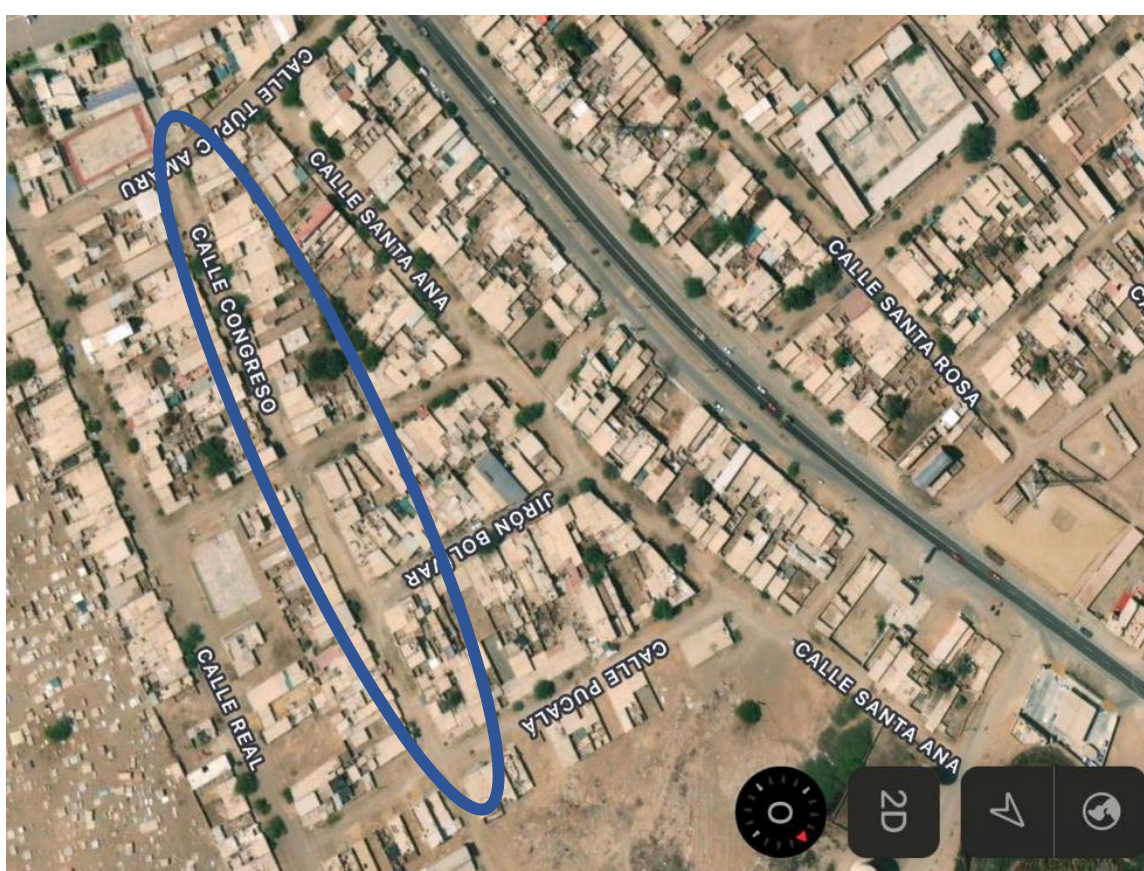
## Población y muestra

### Población

La población está establecida por los ciudadanos del distrito de Picsi, Chiclayo.

### Muestra

La muestra en estudio del suelo arcilloso se dará por medio de extracción en 03 calicatas con profundidad mínima de 1.50 metros, las cuales se obtendrán de la Calle Congreso- Distrito de Picsi. Asimismo, aparte del suelo arcilloso también la muestra incluirá el estabilizador Z con polímero.



*Imagen 4: Calle Congreso y sus colindantes*

*Fuente: Google Earth*

### Muestreo

El tipo de muestreo aplicado en esta investigación será no probabilístico, se incluirá en la muestra un grupo definido que cumplen con ciertas condiciones, sustentado en el juicio del investigador, conforme a la normativa de Pavimentos Urbanos.

### MUESTREO DE SUELO PATRÓN

MUESTRA PATRÓN		CALICATAS		
		C1	C2	C3
PROPIEDADES FÍSICAS	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	3	3	3
	CLASIFICACIÓN DE SUELO	3	3	3
	CONTENIDO DE HUMEDAD	3	3	3
	LÍMITES DE ATTERBERG	3	3	3
PROPIEDADES MECÁNICAS	PROCTOR	3	3	3
	CBR	3	3	3
TOTAL		18	18	18
TOTAL DE MUESTRAS		54		

Tabla 3 Muestreo Suelo Patrón

Fuente: Propia

### MUESTREO EXPERIMENTAL

AGREGADO DEL POLÍMERO Z		CALICATA "C1"		
		3 l/m3	5 l/m3	7 l/m3
PROPIEDADES FÍSICAS	CONTENIDO DE HUMEDAD	3	3	3
	LÍMITES DE ATTERBERG	3	3	3
PROPIEDADES MECÁNICAS	PROCTOR	3	3	3
	CBR	3	3	3
TOTAL		12	12	12
TOTAL DE MUESTRAS		36		

Tabla 4 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 1

Fuente: Propia

AGREGADO DEL POLÍMERO Z		CALICATA "C2"		
		3 l/m3	5 l/m3	7 l/m3
PROPIEDADES FÍSICAS	LÍMITES DE ATTERBERG	3	3	3
	CONTENIDO DE HUMEDAD	3	3	3
PROPIEDADES MECÁNICAS	PROCTOR	3	3	3
	CBR	3	3	3
TOTAL		12	12	12
TOTAL DE MUESTRAS		36		

Tabla 5 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 2

Fuente: Propia

AGREGADO DEL POLÍMERO Z		CALICATA "C3"		
		3 l/m <sup>3</sup>	5 l/m <sup>3</sup>	7 l/m <sup>3</sup>
PROPIEDADES FÍSICAS	CONTENIDO DE HUMEDAD	3	3	3
	LÍMITES DE ATTERBERG	3	3	3
PROPIEDADES MECÁNICAS	PROCTOR	3	3	3
	CBR	3	3	3
TOTAL		12	12	12
TOTAL DE MUESTRAS		36		

Tabla 6 Muestreo Agregado del Polímero Z en Calicata 3

Fuente: Propia

<b>TOTAL DE MUESTRAS GENERAL</b>	<b>162</b>
----------------------------------	------------

### Criterio de selección

Se realizará bajo los criterios establecidos en la normativa CE. 010 de Pavimentos Urbanos, asignación de calicatas en zona del estudio y el reparto del estrato de muestreo, se basará de acuerdo al criterio del investigador. Con respecto al sitio de inspección se localizarán por lo tanto las zonas de influencia engloben la máxima parte del lugar de estudio. La alternativa se dará de acuerdo a la norma, estableciendo que la profundidad mínima de rastreo es de 1.50 metros más abajo de cota rasante, y el número mínimo de puntos por inspección son 3. De acuerdo con las dosis del estabilizador Z con polímero será de 3 l/m<sup>3</sup>, 5 l/m<sup>3</sup> y 7 l/m<sup>3</sup>.

### Consideraciones éticas

Conforme con el presente estudio se empleó el aditivo químico Estabilizador Polímero Z, cumpliendo con la norma técnica de estabilizadores químicos MTC 1109-2004, la cual nos resalta que no es dañino para el medio ambiente.

## **Técnicas**

Se empleó una técnica de observación directa con el fin de recolectar los datos, que implica el método fundamental de toda investigación, que es la observación, ya que mediante ella se obtendrá el mayor número de datos, considerando totalmente aspectos propios de su conducta y características.

## **Instrumentos**

Son aquellos equipos automatizados que se emplearon en el transcurso del método de recolección de datos, de acuerdo a nuestro análisis se emplearán los equipos: balanza electrónica, maquina manual para ensayos de CBR, horno electrónico, tamices estandarizados, probetas, horno electrónico, cuchara de Casagrande, fichas de apuntes.

## **Validación de instrumentos**

Para la validación de instrumentos, se llevó a cabo los procedimientos reglamentares, junto con las pruebas correspondientes, en el laboratorio de suelos de la universidad.

## **Procesamiento**

Conforme a la realización de diferentes pruebas y comprobación del estado físico de la carretera no pavimentada, se realizará lo siguiente:

- a. Se trasladará al Distrito de Picsi, a unos 20 min aproximadamente de las afueras de Ciudad de Chiclayo.
- b. Se ubicará la Calle Congreso junto con las calles que se interceptan en el lugar de estudio
- c. Se recolectará evidencias del suelo arcilloso para llevar al laboratorio de mecánica de suelos.
- d. Realizar el estudio de materiales (suelo arcilloso y polímero Z)
- e. Realizar los ensayos de laboratorio en suelo original y suelo añadido con polímero sintético empleando la administración (un estabilizador Z con polímero + cuatro partes de agua), conforme a la descripción en su hoja técnica sugerida por el fabricante “Z aditivos”.
  - Análisis Granulométrico de suelos por tamizado
  - Límites de Atterberg
  - Determinación del Contenido de Humedad
  - PROCTOR
  - CBR

## **PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Elaboraremos el estudio en las siguientes fases:

### **FASE I:**

- Evaluar teoría del asunto a investigar.
- Estudio de antecedentes de la investigación.
- Verificar normativa válida relacionada.
- Ejecutar un plan de investigación.
- Revisión parcial del asesor

### **FASE II:**

- Realización de calicatas
- Obtener el estabilizador Z con polímero
- Desarrollo de pruebas para clasificación de subrasantes arcillosas.
- Desarrollo de ensayos para evaluar subrasante más favorable y desfavorable.

### **FASE III:**

- Comparación entre las dosificaciones por medio de ensayos
- Trabajo en gabinete

### **FASE IV:**

- Cuantificación de las modificaciones producidas en las características de cada subrasante arcillosa al añadirle diferentes porcentajes del polímero.
- Comparar resultados finales entre la muestra original y muestras con la incorporación del polímero, estableciendo el porcentaje óptimo conforme cada subrasante arcillosa.
- Comparación de rentabilidad económica del suelo y el estabilizador propuesto.
- Evaluación del impacto ambiental.

### **FASE V:**

- Presentación final
- Levantamiento de observaciones
- Sustentación final de tesis

## PROCEDIMIENTO

- **Ejecución de Calicatas**

Se comenzó la presente investigación, realizando visita de campo para reconocer de manera óptica, el estado de la zona con identificación de arcillas y demás problemas que muestra el intervalo de estudio, del mismo modo recopilamos información referente y los diferentes suelos que se puede encontrar, de acuerdo a esto, definiremos la posición de los puntos de muestreo. Elaboraron la suma de 03 calicatas a cielo abierto, cuales se van extraer y almacenar los ensayos como concierte el reglamento MTC E-101 “Muestreo de Suelos y Rocas”. Cabe mencionar que las calicatas se efectuaron a un costado del eje de vía, a horario no muy circulado y el clima cálido, de acuerdo a la siguiente ubicación:

GEOREFERENCIACIÓN: UTM WGS84

EXPLORACIÓN	ESTE	NORTE	INTERSECCIONES
C-1	635927.44	9257318.99	Calle Congreso y Calle Túpac Amaru
C-2	635969.71	9257447.10	Calle Congreso y Jirón Augusto B. Leguía
C-3	635995.43	9257575.75	Calle Congreso y Calle Pucala

*Tabla 7 Coordenadas de Google Earth Pro*

*Fuente: Propia*

Conforme a la Norma 010 Pavimentos Urbanos, fija la mínima profundidad de excavación de 1.50m, hallándose por debajo de la cota de la rasante de la vía, respetándose en la investigación. El MTC E-101 “Muestreo de suelos y rocas”, señala que el número mínimo de muestras a extraer tendrá que ser necesarias para llevar a cabo ensayos físicos-mecánicos del suelo. Las calicatas efectuadas obtuvieron una profundidad de 1.50cm, descubriendo un perfil estratigráfico cuya composición es de material de relleno, a partir de la superficie hasta 0.20m de profundidad y el suelo arcilloso conformado desde el nivel mencionado hasta el fondo de la excavación. En ninguna calicata se halló existencia de nivel freático, se extrajeron muestras de suelo, siendo trasladadas en sacos de polietileno a laboratorio.



Imagen 5: Extracción calicata C-1



Imagen 6: Extracción calicata C-2



Imagen 7: Extracción calicata C-3

Elaborándose un perfil estratigráfico por cada calicata, con detalles de cada estrato, junto a sus características.

### **PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

#### EXPLORACIÓN: C-1

<b>TESIS:</b>	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO		
<b>TESISTA:</b>	LORELEY ADRIANA GOMEZ MORANTE		
<b>UBICACIÓN:</b>	DISTRITO DE PICSL, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE		
<b>FECHA EXCAVACION:</b>	miércoles, 6 de Setiembre de 2023	<b>TIPO DE EXCAVACIÓN:</b>	MANUAL
<b>N.A.F.:</b>	No encontrado a la profundidad de excavación		

COORDENADAS: E = 635927.44 N = 9257318.99										
PROFUNDIDAD	ESTRATO	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUMED.	L.L.	L.P.	IP.	SALES	IDENTIFIC.
0.00										
0.10	0.20	-			-	-	-	-	-	
0.20		Relleno con material suelto - basura.								
0.30										
0.40										
0.50										
0.60										
0.70										
0.80										
0.90										
1.00	1.50	M-1	CL	A-6(7)	12.55	23	9	14	13.32	
1.10		Suelo de matriz arcillosa de coloración marrón claro. Presenta material compacto, textura suave, estructura fina, húmedo y moldeable.								
1.20										
1.30										
1.40										
1.50										
1.60										
1.70										

*Imagen 8: Perfil estratigráfico C-01*

*Fuente: Propia*

## **PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

**EXPLORACIÓN: C-2**

<b>PROYECTO:</b>	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO		
<b>SOLICITANTE:</b>	LORELEY ADRIANA GOMEZ MORANTE		
<b>UBICACIÓN:</b>	DISTRITO DE PICSÍ, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE		
<b>FECHA EXCAVACION:</b>	miércoles, 6 de Setiembre de 2023	<b>TIPO DE EXCAVACIÓN:</b>	MANUAL
<b>N.A.F.:</b>	No encontrado a la profundidad de excavación	<b>COD. DE EXPEDIENTE:</b>	004-2023/GEOHESA

COORDENADAS: E = 635969.71 N = 9257447.10										
PROFUNDIDAD	ESTRAT O	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUMED.	L.L.	L.P.	IP.	SALES	IDENTIFIC.
0.00										
0.10	0.10	-			-	-	-	-	-	
0.20										
0.30										
0.40										
0.50										
0.60										
0.70										
0.80										
0.90	1.50	M-1	CH	A-7-6 (18)	21.56	51	22	29	17.00	
1.00										
1.10										
1.20										
1.30										
1.40										
1.50										
1.60										

*Imagen 9: Perfil Estratigráfico 02*

*Fuente: Propia*

## **PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

### **EXPLORACIÓN: C-3**

<b>PROYECTO:</b>	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO		
<b>SOLICITANTE:</b>	LORELEY ADRIANA GOMEZ MORANTE		
<b>UBICACIÓN:</b>	DISTRITO DE PICSI, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE		
<b>FECHA EXCAVACION:</b>	miércoles, 6 de Setiembre de 2023	<b>TIPO DE EXCAVACIÓN:</b>	MANUAL
<b>N.A.F.:</b>	No encontrado a la profundidad de excavación	<b>COD. DE EXPEDIENTE:</b>	004-2023/GEOHESA

COORDENADAS: E = 635995.43 N = 9257575.75										
PROFUNDIDAD	ESTRAT O	DESCRIPCION	SUCS	AASHTO	HUMED.	L.L.	L.P.	IP.	SALES	IDENTIFIC.
0.00										
0.10	0.10	-			-	-	-	-	-	
0.20										
0.30										
0.40										
0.50										
0.60										
0.70										
0.80										
0.90	1.50	M-1								
1.00			CH	A-7-6(14)	16.38	51	18	33	39.17	
1.10										
1.20										
1.30										
1.40										
1.50										
1.60										

*Imagen 10: Perfil estratigráfico C-3*

*Fuente: Propia*

Se procede a obtener muestras de subrasantes arcillosas, dándose a cabo los ensayos correspondientes para su determinación, se llevan a cabo en laboratorio de mecánica de suelos.

- **ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**

Proceso: De acuerdo con la norma MTC E-108, comenzará realizándose un cuarteo, dividiendo la muestra total en partes equivalentes así seleccionar muestras representativas, de acuerdo a eso se pesan en la balanza electrónica. Dichas muestras selectivas se almacenarán en taras para poder consignar el peso del recipiente con y sin material. Se colocarán las taras en el horno eléctrico, con temperatura continua de 110°C por 24 horas. Al efectuarse el tiempo dado, se apartará las muestras del horno, para que enfríen a temperatura ambiente, finalmente se tomará nota del registro del peso seco de la muestra con la tara, llevándose a cabo el cálculo del contenido de humedad natural.



*Imagen 11: Peso de la muestra en la balanza electrónica*



*Imagen 12: Colocación de la muestra en el horno*

- **ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Conforme a la normativa que conlleva este ensayo, se distribuye por tamaños la muestra de cada calicata, apuntando los pesos retenidos por cada uno de los diferentes tamaños de tamices. Para realizar este ensayo se comienza pesando la muestra en la balanza, continuando con el registro el peso retenido de cada tamiz, para finalmente realizar la sumatoria de todos los retenidos y verificar que sea igual al peso inicial de la muestra.



*Imagen 13: Realización del ensayo por medio de tamices*



*Imagen 14: Selección de tamices a utilizar, cada uno de diferentes tamaños*

- **ENSAYO DE LIMITE LÍQUIDO**

Con respecto a la norma MC E-110, se realiza este ensayo verificando que la cuchara de Casagrande esté calibrada, ya que se empleará una porción de muestra saturada, la cual debió estar 24 horas en agua. Continuando con la colocación de la muestra en la cuchara, se realiza un corte central con la ayuda de una ranura, la cual debe tener una longitud aproximada de 13 mm, se comienza a girar la manivela para dejar caer el bol de la cuchara con la muestra, llevando la cuenta del número de golpes que llega a cerrar la ranura que tenía la muestra, teniendo una variación de entre 4 a 40 golpes, registrándose en 4 etapas: de 30-40 golpes la primera , 20-30 golpes la segunda , 10-20 la tercera y finalmente de 4-10 golpes la última. Se seguirá con nuestro procedimiento, colocando una reducida ración de agua en la muestra que no ha cerrado, para en seguida de nuevo realizar los golpes de 20-30. Con posterioridad, se pesará la tara sin la muestra, de igual manera que la tara con la muestra. Concluimos dejando las muestras en el horno a una temperatura de 110° C por 24 horas, después de este tiempo, se retirará del horno y se procede a pesar, para así obtener su humedad, aplicándose el mismo procedimiento en todas las muestras.



*Imagen 15: Ensayo con cuchara Casagrande*

- **ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

Conforme con normativa, se realiza diminutos cilindros los cuales tienen un diámetro aproximado de 3mm respectivamente, también se pesa la tara con y sin muestras. Por último, dejarán en el horno a una temperatura de 110°C por 24 horas, finalmente acabado el tiempo, se procederá a retirar y calcular su humedad.



*Imagen 16: Realización de pequeños cilindros*



*Imagen 17: Peso de tara con y sin muestra*

- **ENSAYO DE PROCTOR**

Para ejecutarse se tiene que tomar por calicata mínimo 3 muestras, con el propósito de conseguir la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad; ciertamente cada una de las muestras estará con un contenido de humedad diferente, así se rellenará el molde de compactación en 5 capas, cada una de ellas se compactará con 25 golpes.

- **ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

Con respecto a la realización del ensayo, cada una de las muestras seleccionadas, se deberá obtener el porcentaje de expansión y densidad seca del suelo compactado a 55, 25 y 10 golpes de acuerdo a la normativa correspondiente. Después de realizarse el debido procedimiento, los resultados nos indicarán el valor de CBR para una penetración de 0.1” y 0.2” con una densidad seca máxima de 95% y 100%.

### ELABORACIÓN DE MUESTRAS EXPERIMENTALES

La preparación de las muestras experimentales, se realizó por cada subrasante arcillosa (C-01, C-02 y C-03), ejecutándose cuatro muestras por cada una, conteniendo suelo arcilloso más el estabilizador polímero Z en porcentajes establecidos, de acuerdo a un proceso detallado.

Determinaremos:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100$$

Se sabe:

$$\text{Peso del suelo seco} = \text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de agua}$$

Reemplazamos:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de agua}} \times 100$$

Despejamos:

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{W}{100} (\text{peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

### CALICATA 1:

#### Datos:

- Humedad: 12.55 %
- Peso de suelo húmedo (muestra): 35 kg

#### Obtención del peso de agua:

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{W}{100} (\text{peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{12.55}{100} (35)}{\left(1 + \frac{12.55}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 3.90 \text{ kg}$$

**Peso seco de la muestra:**

$$\text{Peso del suelo seco} = \text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de agua}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 35 \text{ kg} - 3.90 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 31.10 \text{ kg}$$

**Cálculo del aditivo por cada adición:**

1°= 3% EZ + 97% SUELO		
RCC	0.03* 31.10	0.933
SUELO	Pw + 0.97* 31.10	34.067
Σ PESOS		35

kg

2°= 5% EZ + 95% SUELO		
RCC	0.05* 31.10	1.555
SUELO	Pw + 0.95* 31.10	33.445
Σ PESOS		35

kg

3°=7 % EZ + 93 % SUELO		
RCC	0.07* 31.10	2.177
SUELO	Pw + 0.93* 31.10	32.823
Σ PESOS		35

kg

**CALICATA 2:****Datos:**

- Humedad: 21.56 %
- Peso de suelo húmedo (muestra): 35 kg

**Obtención del peso de agua:**

$$\text{Peso de agua} = \frac{W}{100} (\text{peso de suelo húmedo})$$

$$\left(1 + \frac{W}{100}\right)$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{21.56}{100} (35)}{\left(1 + \frac{21.56}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 6.20 \text{ kg}$$

**Peso seco de la muestra:**

$$\text{Peso del suelo seco} = \text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de agua}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 35 \text{ kg} - 6.20 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 28.80 \text{ kg}$$

**Cálculo del aditivo por cada adición:**

1°= 3% EZ + 97% SUELO		
RCC	0.03* 28.80	0.864
SUELO	Pw + 0.97* 28.80	34.136
Σ PESOS		35

kg

2°= 5% EZ + 95% SUELO		
RCC	0.05* 28.80	1.44
SUELO	Pw + 0.95* 28.80	33.56
Σ PESOS		35

kg

3°=7 % EZ + 93 % SUELO		
RCC	0.07* 28.80	2.016
SUELO	P <sub>w</sub> + 0.93* 28.80	32.984
Σ PESOS		35

 kg

### CALICATA 3:

#### Datos:

- Humedad: 16.38 %
- Peso de suelo húmedo (muestra): 35 kg

#### Obtención del peso de agua:

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{W}{100} (\text{peso de suelo húmedo})}{\left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = \frac{\frac{16.38}{100} (35)}{\left(1 + \frac{16.38}{100}\right)}$$

$$\text{Peso de agua} = 4.92 \text{ kg}$$

#### Peso seco de la muestra:

$$\text{Peso del suelo seco} = \text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de agua}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 35 \text{ kg} - 6.20 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del suelo seco} = 30.08 \text{ kg}$$

#### Cálculo del aditivo por cada adición:

1°= 3% EZ + 97% SUELO		
RCC	0.03* 30.08	0.9024
SUELO	P <sub>w</sub> + 0.97* 30.08	34.0976
Σ PESOS		35

 kg

2°= 5% EZ + 95% SUELO		
RCC	0.05*30.08	1.504
SUELO	P <sub>w</sub> + 0.95* 30.08	33.496
Σ PESOS		35

 kg

3°=7 % EZ + 93 % SUELO		
RCC	0.07* 28.80	2.016
SUELO	P <sub>w</sub> + 0.93* 28.80	32.984
Σ PESOS		35

 kg

#### Obtención de muestras:

Después de haber calculado la cantidad de aditivo a requerir según cada mezcla, se procedió a pesarlos en una balanza eléctrica con sensibilidad de 0.01g.

## Resultados y discusión

### Resultados

Este apartado se presenta y se analiza los resultados de los ensayos realizados en laboratorio acerca de las pruebas de suelo arcilloso de la Calle Congreso del Distrito de Picsi, en estado natural y con la adición del estabilizador Z con polímero, en las dosificaciones señaladas anteriormente.

Los ensayos de granulometría por tamizado, contenido de humedad, límites de Atterberg, se realizaron para identificar el suelo y clasificarlos según la normativa AASHTO y SUCS, sin embargo, los ensayos de CBR y Proctor se ejecutaron para ver el impacto del estabilizador Z con polímero sobre los indicadores de resistencia del suelo.

### CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS NATURALES DE SUBRASANTES ARCILLOSAS

Las muestras ensayadas, fueron obtenidas de la zona de estudio, extrayendo de manera inalteradas para obtener las calicatas C-01, C-02 y C-03, con un peso aproximado de 250 gr, realizándose el muestreo correspondiente. Para las características físico-mecánicas del suelo extraído, se ejercerán los siguientes ensayos: contenido de humedad, granulometría por tamizado, contenido de sales solubles totales, límites de consistencia, densidad específica, Proctor, relación de soporte california (CBR), obteniendo como resultado lo siguiente:

- **Contenido de Humedad- MUESTRAS NATURALES**

De acuerdo con este ensayo se mide la correlación existente del peso del agua respecto a los sólidos, presentándose lo siguiente:

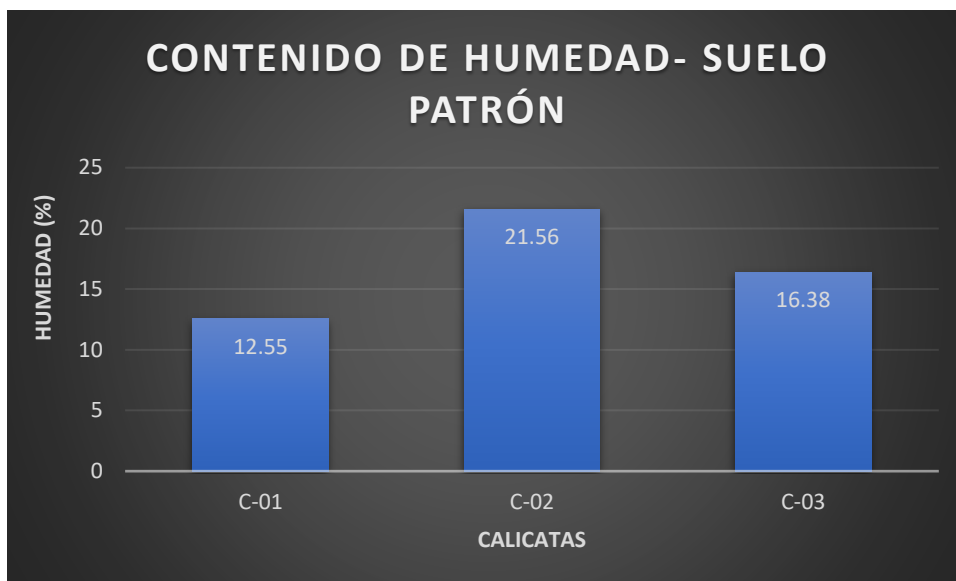
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Humedad (%)
C-01	M-01	0.20 - 1.70	12.55
C-02	M-02	0.20 - 1.70	21.56
C-03	M-03	0.20 - 1.60	16.38

*Tabla 8: Contenido de humedad en muestra patrón*

*Fuente: Propia*

Se observa que el estado natural del suelo, contiene una humedad aproximada de 12.55%, 21.56% y 16.38% para las calicatas respectivamente.

Concluimos que el contenido de humedad natural promedio adquirido fue de 16.38%.



*Ilustración 1: Gráfica de contenido de humedad en muestra patrón*

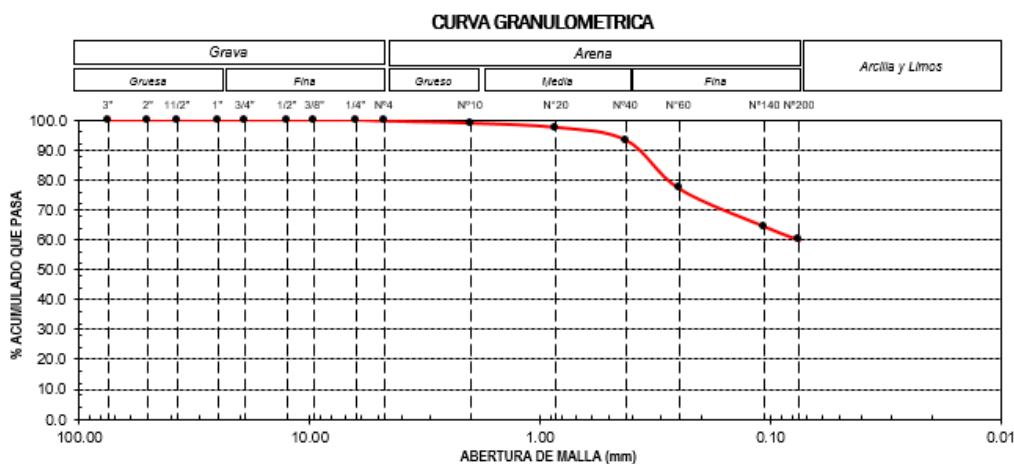
*Fuente: Propia*

Mediante la gráfica podemos observar la comparación de los diferentes porcentajes de contenido de humedad de las 3 calicatas, también cabe recalcar que este ensayo no se aplica a la mezcla del suelo arcilloso y el estabilizador Z con polímero, ya que esas medidas se calculan en peso seco. Se sabe que toda alteración de la muestra puede modificar el contenido de agua natural, es por eso que dicho ensayo se efectúa con la muestra patrón.

- **DISRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA-MUESTRAS NATURALES**

De acuerdo con el procedimiento de ensayo de granulometría de la norma MTC E107 se realizó el tamizado de la porción gruesa del suelo natural, de las 3 calicatas.

## C-1



*Ilustración 2: Curva granulométrica C-1 // Fuente: Propia*

C-2

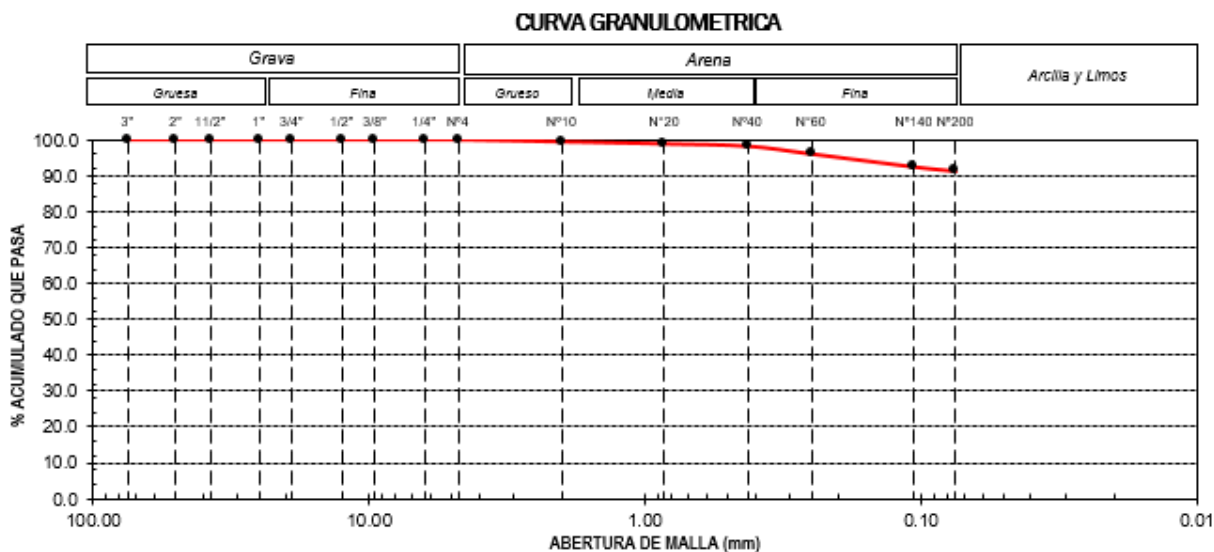


Ilustración 3: Curva granulométrica C-2

Fuente: Propia

C-3

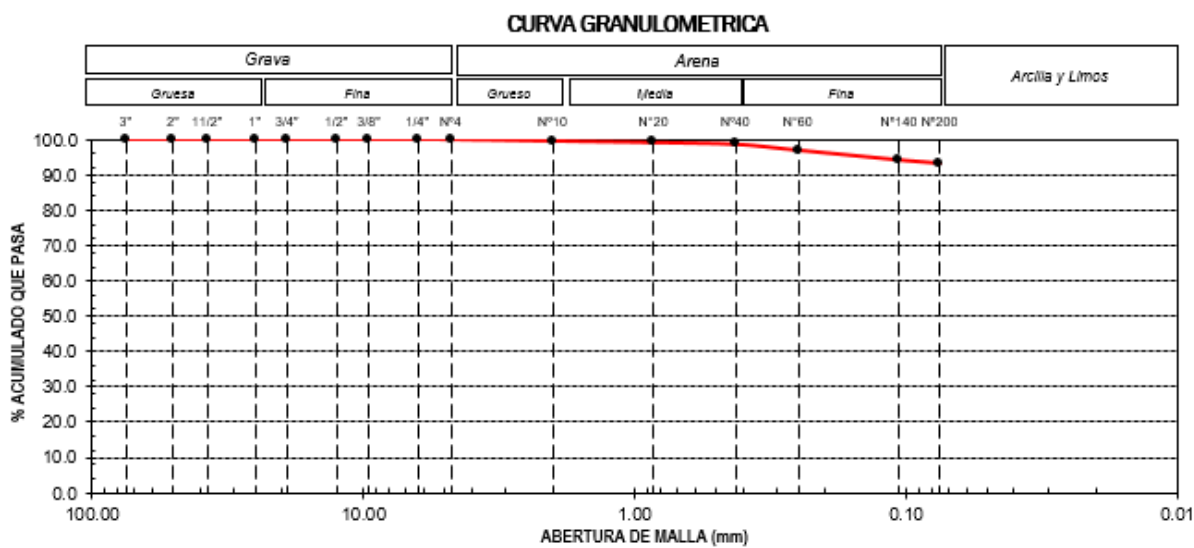


Ilustración 4: Curva granulométrica C-3

Fuente: Propia

Con respecto a los resultados en el análisis granulométrico por tamizado:

Calicata	Muestra	Grava (%) 75.00 - 4.75 mm	Arena (%) 4.75 - 0.075 mm	Limo / Arcilla (%) < 0.075 mm
C-01	M-01	100	99.68	60.04
C-02	M-02	100	99.96	91.31
C-03	M-03	100	99.97	93.29

Tabla 9: Resultados de análisis granulométrico // Fuente: Propia

Se puede afirmar que, según la clasificación por tamaño de partículas, la muestra de suelo C-1 pertenece al grupo de arcilla arenosa de baja plasticidad, mientras las muestras de C-2 y C-3 son arcillas de alta plasticidad.

### LÍMITES DE ATTERBERG – MUESTRAS NATURALES

Son las humedades críticas donde el suelo pasa a diferentes estados de consistencia, en este ensayo se realizó para determinar el límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), obteniéndose los resultados:

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-01	M-01	0.20 - 1.70	23	9	14
C-02	M-02	0.20 - 1.70	51	22	29
C-03	M-03	0.20 - 1.60	51	18	33

Tabla 10: Límites de Consistencia de muestra patrón // Fuente: Propia

Los resultados de laboratorio exponen en estado natural el suelo de la zona de estudio, que contiene un límite líquido de 23%, 51% y 51% para las calicatas N° 01, 02 y 03 respectivamente, para el límite plástico de 9%, 22%, 18% en el orden anterior y el índice de plasticidad de 14%, 29% y 33% de forma respectiva a las calicatas N° 01, 02 y 03.

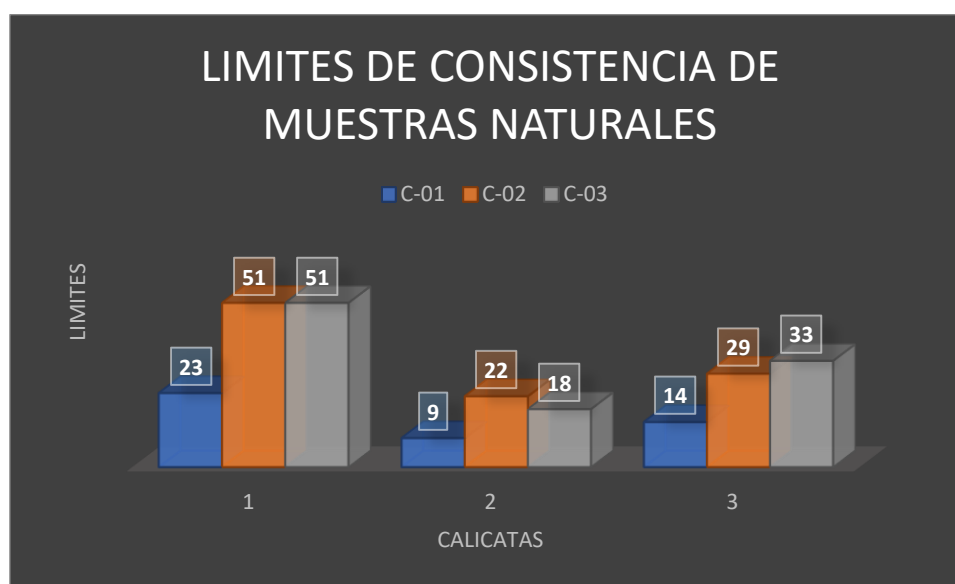


Ilustración 5: Gráfica de límites de Consistencia de muestra patrón

Fuente: Propia

Para los ensayos se empleó la normativa del MTC E 110, para el procedimiento correspondiente del ensayo de límite líquido y la normativa MTC E 111, para el ensayo límite plástico e índice de plasticidad. Se observa mediante la gráfica y en base a la clasificación de suelos, la diferencia de límites de consistencia, según su índice de plasticidad, la muestra patrón de las calicatas C-02 y C-03 presenta una plasticidad alta, lo cual indicará ser suelos muy arcillosos.

## CLASIFICACIÓN DE SUELO- MUESTRAS NATURALES

Se clasificó las muestras naturales mediante el criterio de la norma AASHTO y SUCS, obteniéndose lo siguiente:

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
C-01	M-01	0.20 - 1.70	CL	A-6 (7)
C-02	M-02	0.20 - 1.70	CH	A-7-6(18)
C-03	M-03	0.20 - 1.60	CH	A-7-6(14)

Tabla 11: Clasificación de suelo en muestra patrón

Fuente: Propia

De acuerdo con las muestras naturales de la calicata C-01, según la clasificación SUCS es tipo CL es decir arcilla arenosa de baja plasticidad, AASHTO nos dice que es tipo A-6 (7) describiendo a un suelo malo y las calicatas C-02, C-03 según su clasificación SUCS es tipo CH es decir arcilla de alta plasticidad y AASHTO señala que es tipo A-7-6(18), A-7-6(14) respectivamente, recalando que es un suelo regular-malo.

## PROCTOR - MUESTRAS NATURALES

El ensayo se ejecutó bajo la norma MTC E-115, el cual estipula el contenido óptimo de humedad de un suelo con el objetivo de generar su máxima densidad seca, otorgando una mayor resistencia y estabilidad.

La investigación de este estudio, se basa en la aplicación del método de compactación A, mostrando resultado en cada calicata, obteniendo los siguientes valores, mediante las curvas de compactación:

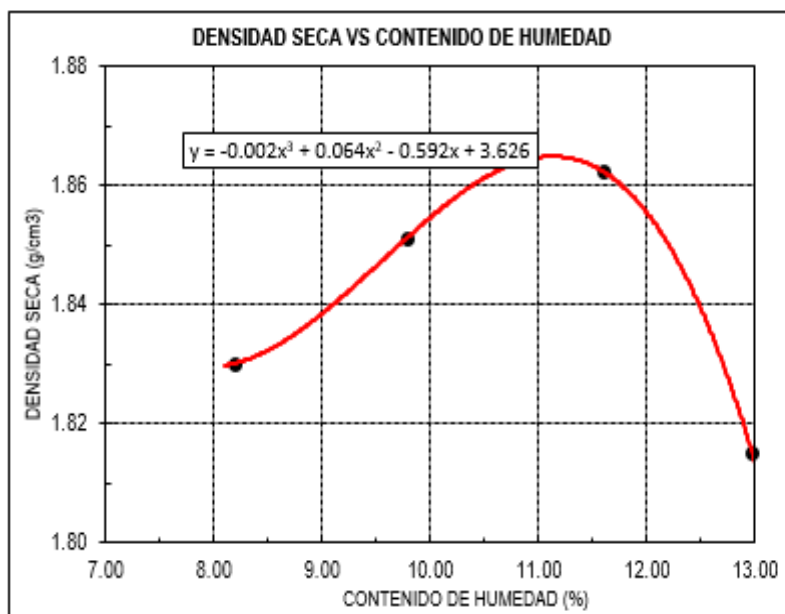
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Contenido óptimo de humedad (%)	Máxima Densidad Seca (%)
C-01	M-01	0.20 - 1.70	9.89	1.82
C-02	M-02	0.20 - 1.70	10.45	1.68
C-03	M-03	0.20 - 1.60	12.56	1.78

Tabla 12: Resultados en ensayo de Proctor en muestra patrón

Fuente: Propia

Se observa mediante la siguiente tabla, los diferentes porcentajes de acuerdo a las 3 calicatas; en C-01 se obtiene un 9.89% de contenido óptimo de humedad y 1.82% de máxima densidad seca, en C-02 se obtiene 10.45% y 1.68%, finalmente en C-03 se obtiene 12.56% y 1.78% respectivamente.

C-01

**RESULTADOS**M.D.S (g/cm<sup>3</sup>)

1.82

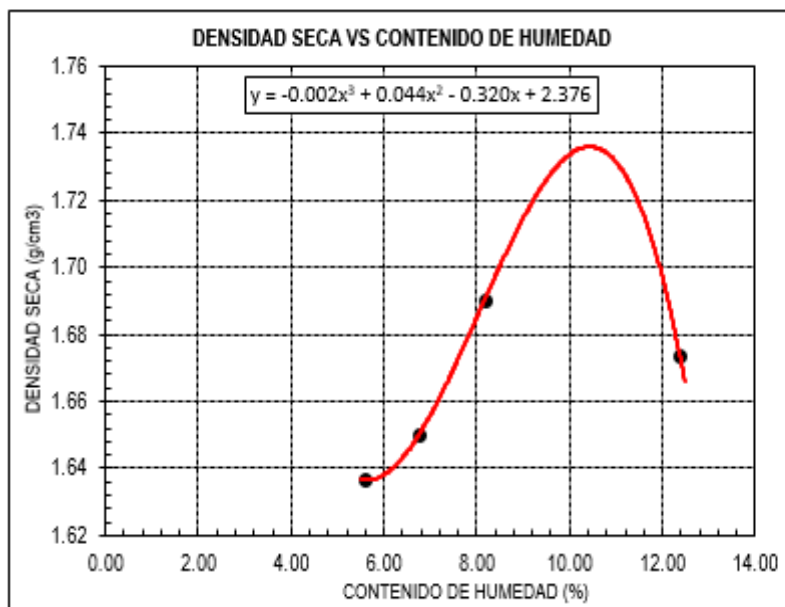
O.C.H (%)

9.89

Ilustración 6: Gráfica Proctor C-1

Fuente: Propia

C-02

**RESULTADOS**M.D.S (g/cm<sup>3</sup>)

1.68

O.C.H (%)

10.45

Ilustración 7: Gráfica Proctor C-2

Fuente: Propia

## C-03

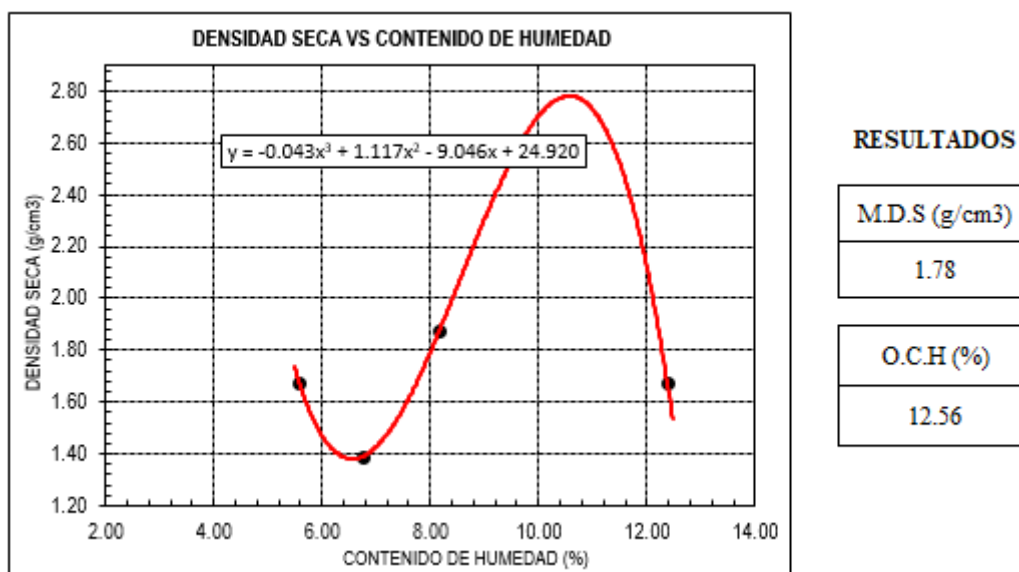


Ilustración 8: Gráfica Proctor C-3

Fuente: Propia

**CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) – MUESTRAS NATURALES**

La presente investigación tiene como finalidad cuantificar la resistencia a la penetración que posee el suelo a tratar, basándose en la norma MTC E-132. Se obtendrá el valor de la Relación de Soporte de California (CBR), obteniendo los siguientes valores:

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	CBR(%) al 95% M.D.S	CBR(%) al 100% M.D.S
C-01	M-01	0.20 - 1.70	4.10	6.45
C-02	M-02	0.20 - 1.70	4.91	7.1
C-03	M-03	0.20 - 1.60	3.56	7.98

Tabla 13: Valores obtenidos mediante las curvas de carga- penetración

Fuente: Propia

Los valores de CBR al 95% de la MDS, de acuerdo a las calicatas, para C-01 se obtiene 4.10%, para C-02 es de 4.91% y C-03 es de 3.56%. Sin embargo, los valores de CBR al 100% de la MDS para C-01, se obtiene 6.45%, para C-02 es de 7.10% y C-03 se obtiene 7.98%, apreciando la variación en cada una de las calicatas de estudio.

## CBR C-1

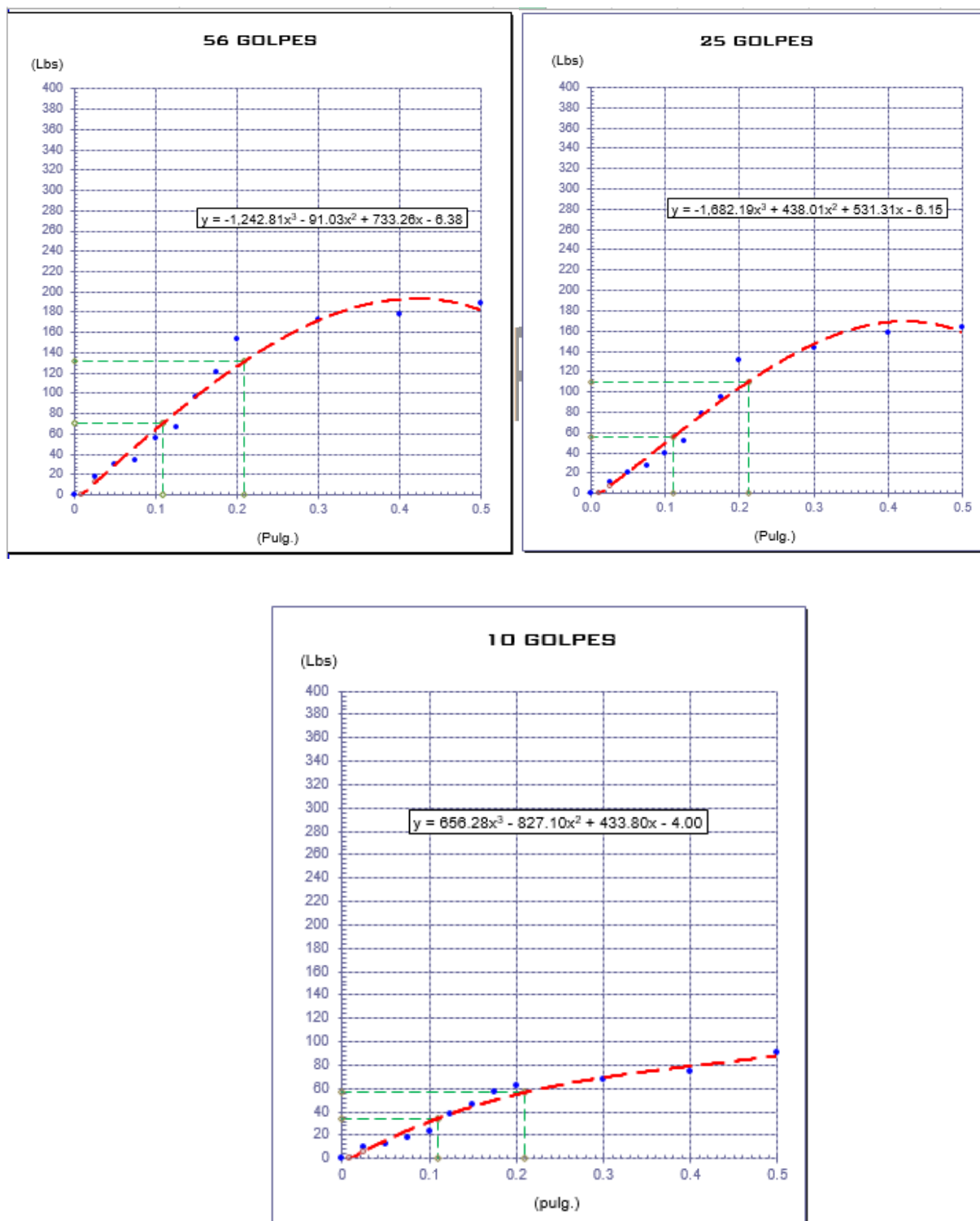


Ilustración 9: Gráfica de CBR - C1

Fuente: Propia

## CBR C-2

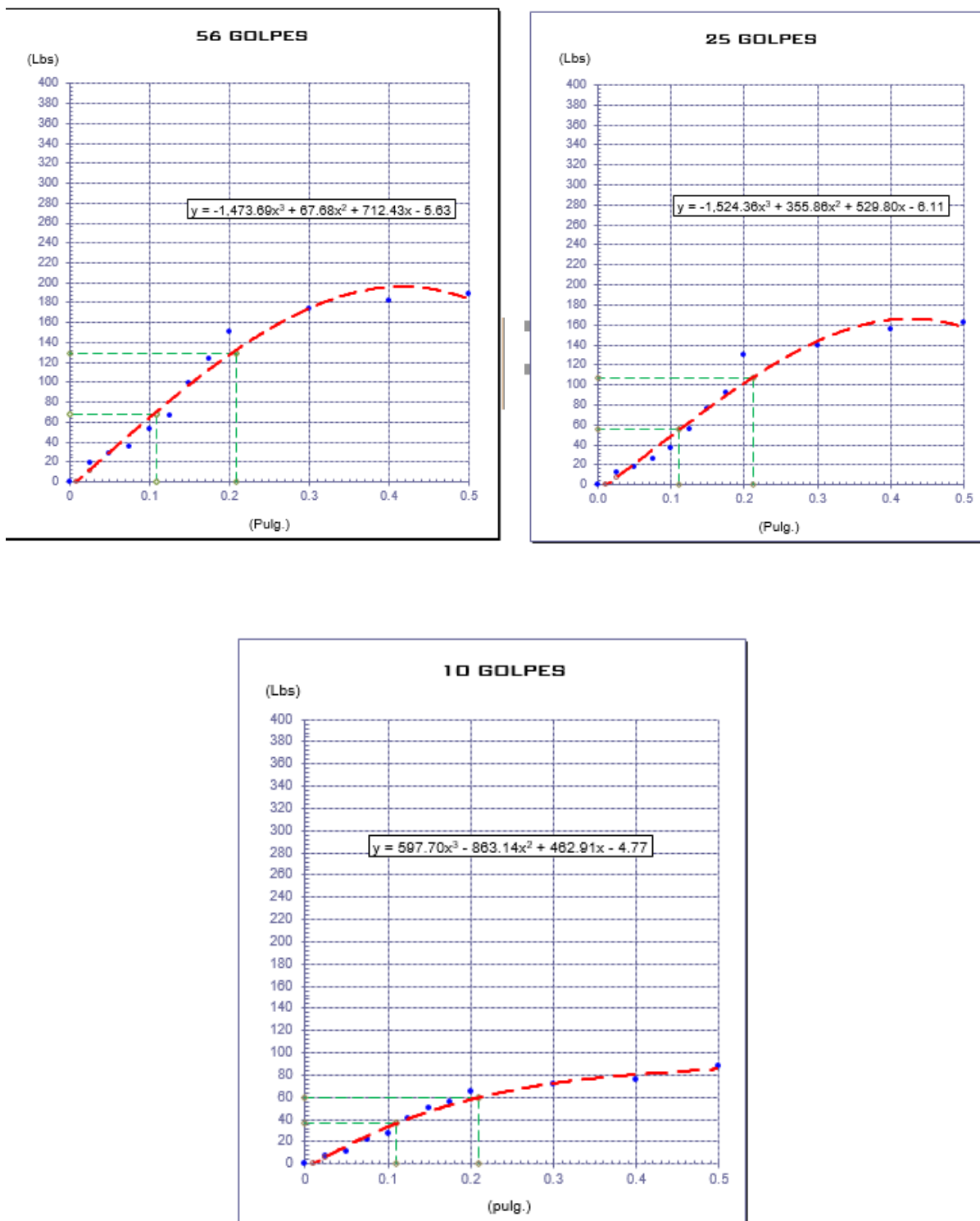


Ilustración 10: Gráfica de CBR - C2

Fuente: Propia

## CBR C-03

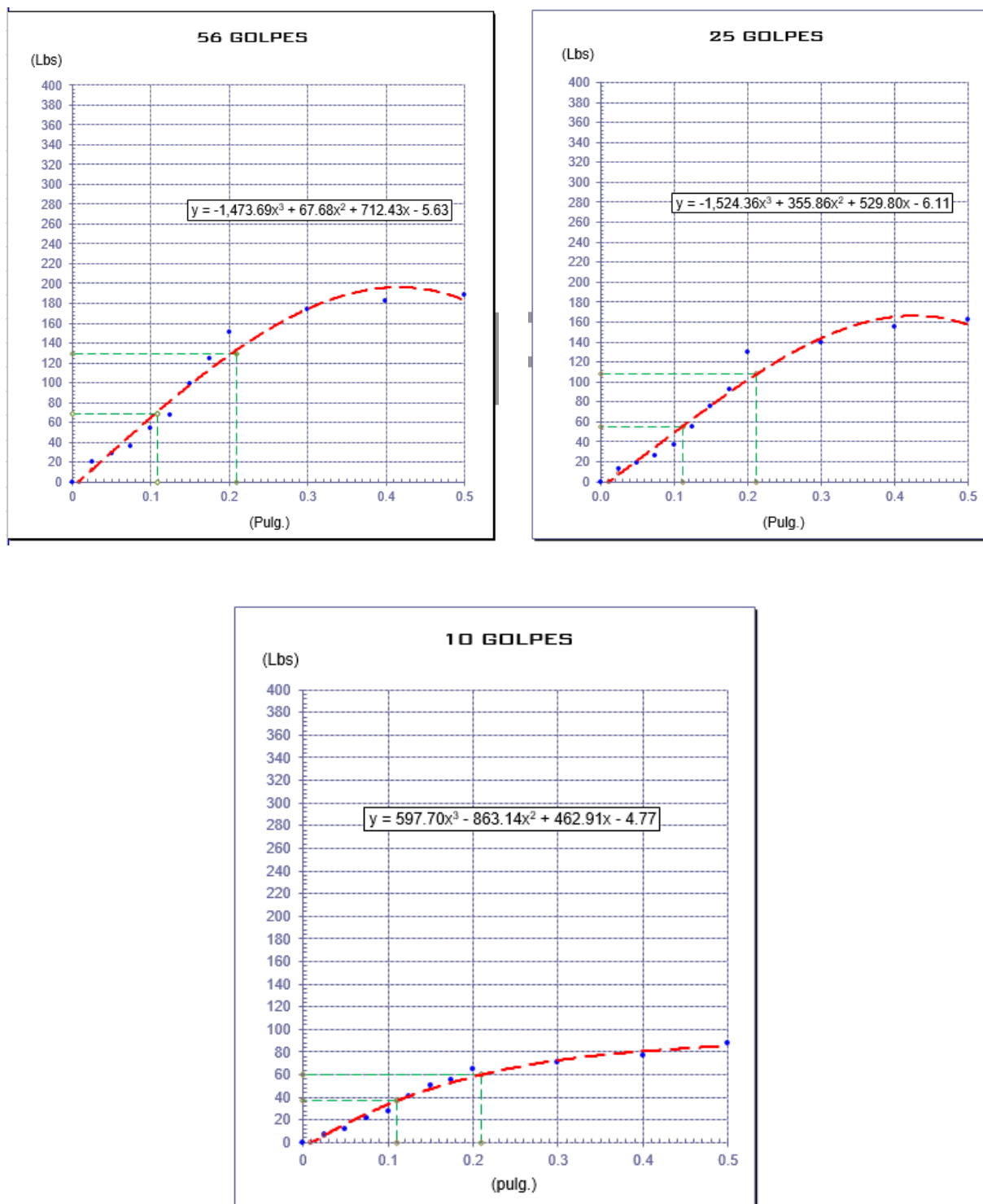


Ilustración 11: Gráficas de CBR- C3

Fuente: Propia

Las 3 muestras de subrasantes arcillosas poseen un CBR < 6% es por eso que se debe plantear su mejoramiento, siendo necesaria la propuesta de estabilización.

## COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICA ENTRE LA MUESTRA PATRÓN Y LAS MUESTRAS ADICIONANDO POLÍMERO ESTABILIZADOR Z

Los ensayos que se desarrollaron con las muestras experimentales fueron: Límites de Atterberg, Proctor y Relación de soporte de California (CBR), los cuales se ejecutaron por cada calicata 3 dosificaciones establecidas y finalmente comparar los resultados con los iniciales correspondientes a la muestra patrón, eligiendo el más óptimo.

### LÍMITES DE CONSISTENCIA – MUESTRAS EXPERIMENTALES C-1

De acuerdo a los resultados de límites de consistencia en muestra experimental C-1, se registrarán los datos en la siguiente tabla:

CALICATA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1 + 3%	29	17	12
C-1 + 5%	29	19	10
C-1 + 7%	29	16	13

Tabla 14: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-1

Fuente: Propia

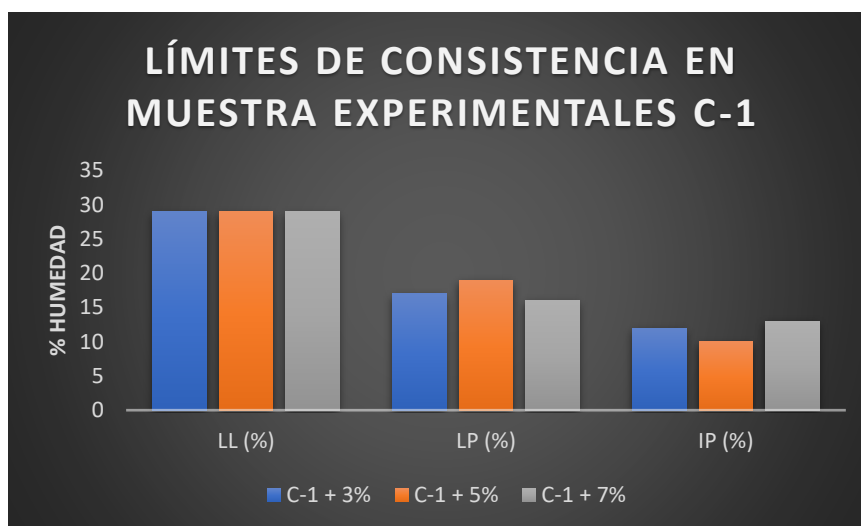


Ilustración 12: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-1

Fuente: Propia

En este ensayo de acuerdo a las diferentes dosificaciones (3%, 5% y 7%) del estabilizador Z con polímero agregado a la calicata C-01, observamos los cambios en estas propiedades, sobre todo variaciones en el índice de plasticidad.

### LÍMITES DE CONSISTENCIA – MUESTRAS EXPERIMENTALES C-2

De acuerdo a los resultados de límites de consistencia en muestra experimental C-2, se registrarán los datos en la siguiente tabla, observándose los cambios en estas propiedades

CALICATA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-2 + 3%	31	17	14
C-2 + 5%	33	22	11
C-2 + 7%	33	13	20

Tabla 15: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-2 // Fuente: Propia



Ilustración 13: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-2 // Fuente: Propia

Se analiza el cambio que produce las diferentes dosificaciones (3%, 5% y 7%) del estabilizador Z con polímero agregado a la calicata C-02.

### LÍMITES DE CONSISTENCIA – MUESTRAS EXPERIMENTALES C-3

De acuerdo a los resultados de límites de consistencia en muestra experimental C-3, se registrarán los datos en la siguiente tabla, observándose los cambios en estas propiedades

CALICATA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-3 + 3%	51	27	24
C-3 + 5%	35	19	16
C-3 + 7%	31	16	15

Tabla 16: Comparación de Límites de consistencia en muestras experimentales C-3

Fuente: Propia

Se analiza el cambio que produce las diferentes dosificaciones (3%, 5% y 7%) del estabilizador Z con polímero agregado a la calicata C-03.

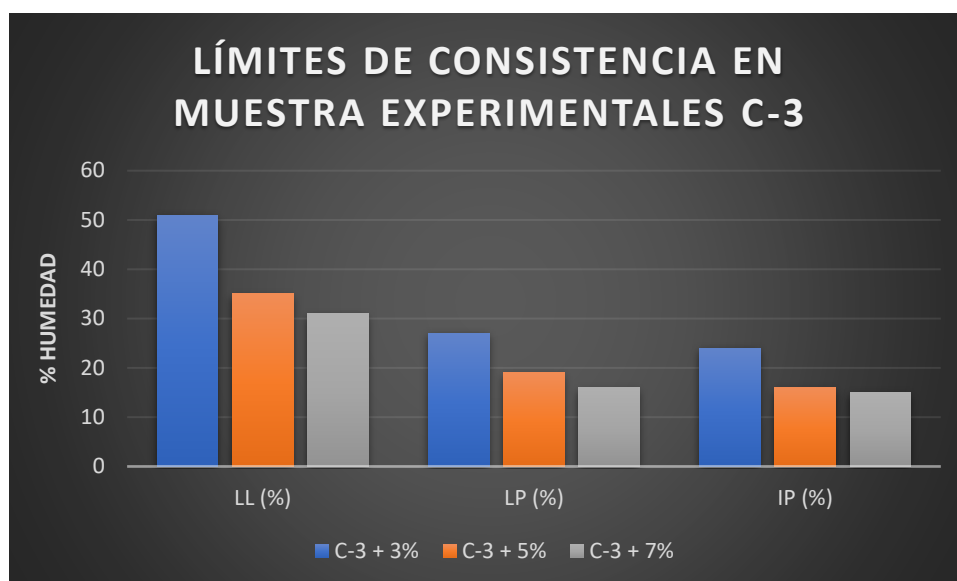


Ilustración 14: Gráfica comparativa de límites de consistencia C-3

Fuente: Propia

### CBR– MUESTRAS EXPERIMENTALES C-1, C-2 Y C-3

Los resultados del ensayo de CBR en muestras experimentales registrándose en la siguiente tabla, las cuales presentan cambios producidos en la propiedad.

CALICATA	PARÁMETRO DE ENSAYO	DOSIFICACIÓN			PROMEDIO
		3%	5%	7%	
C-1	CBR	10.23	12.23	10.23	10.90
C-2	CBR	5.08	9.5	7.09	7.22
C-3	CBR	6.34	10.33	8.59	8.42

Tabla 17: Comparación de ensayo CBR con diferentes dosificaciones

Fuente: Propia

### PROCTOR– MUESTRAS EXPERIMENTALES C-1, C-2 Y C-3

Los resultados del ensayo de Proctor en muestras experimentales registradas en la siguiente tabla, las cuales presentan cambios producidos en la propiedad.

CALICATA	PARÁMETRO DE ENSAYO	DOSIFICACIÓN			PROMEDIO
		3%	5%	7%	
C-1	M.D.S	1.69	1.95	1.92	1.85
	O.C.H	9.92	10.28	10.00	10.07
C-2	M.D.S	1.72	1.75	1.86	1.78
	O.C.H	13.19	8.32	13.14	11.55
C-3	M.D.S	1.65	2.13	2.13	1.97
	O.C.H	11.41	13.49	13.26	12.72

Tabla 18: Comparación de ensayo de Proctor con diferentes dosificaciones

Fuente: Propia

## COMPARACIÓN DE LA SUBRASANTE MÁS FAVORABLE Y DESFAVORABLE AL ADICIONAR EL ESTABILIZADOR POLÍMERO Z

CALICATA	PARÁMETROS DE ENSAYOS	CONDICIONES NORMALES	CON INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR POLÍMERO Z
C-1	M.D.S	1.86	1.85
	O.C.H	9.89	10.07
	CBR	4.10	10.90
C-2	M.D.S	1.68	1.78
	O.C.H	10.45	11.55
	CBR	4.91	7.22
C-3	M.D.S	1.78	1.97
	O.C.H	12.56	12.72
	CBR	3.56	8.42

Tabla 19: Comparación muestra patrón y muestra experimental

Fuente: Propia

De acuerdo a la comparación, analizamos que en condiciones modificadas los valores de óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca son sutilmente superiores a los valores alcanzados en condiciones normales resultados de los ensayos de Proctor y CBR, podemos concluir que la adición es más favorable. De acuerdo a la estimación de CBR al 95% con una penetración de 0.1", encontramos diferencias entre los valores de la adición y la muestra patrón.

### Análisis- Costo

La evaluación de costos y beneficios constituye una de las actividades más complejas dentro de la ingeniería civil, en especial cuando se incorporan nuevas tecnologías o se trabaja con nuevos materiales en la infraestructura. En el caso específico de la estabilización de arcillas con el estabilizador Z con polímero, este no solo sirve para determinar el efecto que el polímero tendrá en las propiedades físico-mecánicas del suelo, sino también calcula si la inversión, posteriormente, resulta rentable a partir del punto de vista económico en concordancia con otros viales. Su eficacia en la elevación de la carga portante de las subrasantes y en disminución del costo de mantenimiento de las carreteras estabilizadas justifica la adición de polímeros como tema de más estudio. El propósito de este análisis es comparar los costos de implementación del estabilizador Z con polímero en tres muestras experimentales de suelos con diferentes dosificaciones (3 L/m<sup>3</sup>, 5 L/m<sup>3</sup> y 7 L/m<sup>3</sup>), y evaluar los beneficios a través de la mejoría en la resistencia del suelo, medida en términos de CBR, y la reducción de los costos operativos de

mantenimiento a largo plazo. Se busca, de esta forma, determinar la viabilidad económica de emplear este estabilizador en proyectos viales en Perú.

Muestra	Costo del Estabilizador Z (S/)	Costo Total de Implementación (S/)	Beneficio Estimado a 5 años (S/)	Relación Costo-Beneficio
C-1 (3 L/m <sup>3</sup> )	1,215,000 S/	1,715,000 S/	500,000 S/	0.29
C-2 (5 L/m <sup>3</sup> )	2,025,000 S/	2,525,000 S/	500,000 S/	0.20
C-3 (7 L/m <sup>3</sup> )	2,835,000 S/	3,335,000 S/	500,000 S/	0.15

Tabla 20 Análisis de costo- beneficio

Fuente: Propia

La tabla presenta un análisis detallado del costo-beneficio de la estabilización de suelos con el estabilizador Z con polímero en tres dosificaciones diferentes (3 L/m<sup>3</sup>, 5 L/m<sup>3</sup> y 7 L/m<sup>3</sup>). El costo del estabilizador Z aumenta con la cantidad de polímero utilizado, llegando a un total de 1,215,000 soles para 3 L/m<sup>3</sup>, 2,025,000 soles para 5 L/m<sup>3</sup>, y 2,835,000 soles para 7 L/m<sup>3</sup>. El costo total de implementación también refleja este incremento, alcanzando 1,715,000 soles para la dosificación más baja y subiendo a 3,335,000 soles en la dosificación más alta, lo que incluye los costos adicionales de transporte y mano de obra. El beneficio estimado a 5 años, calculado a partir de la reducción en costos de mantenimiento de las carreteras, es constante en 500,000 soles para todas las muestras. Sin embargo, la relación costo-beneficio disminuye conforme aumenta la dosificación del estabilizador, lo que indica que, a pesar del avance en las propiedades del suelo, el incremento de los costos asociados con mayores dosis de estabilizador resulta en una menor rentabilidad económica.

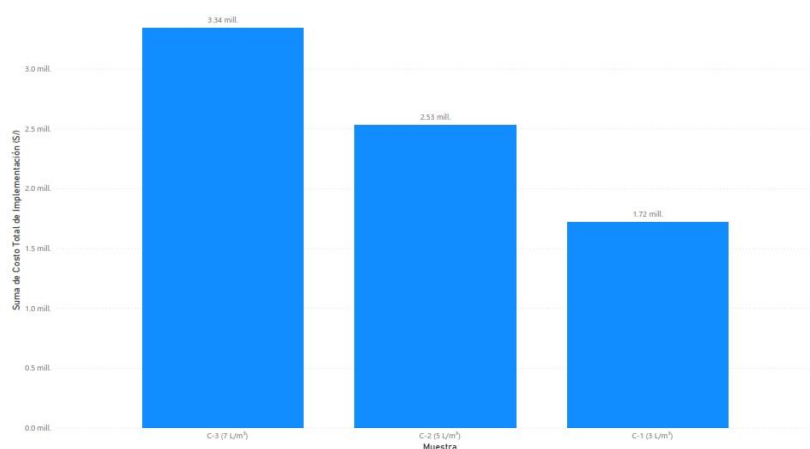
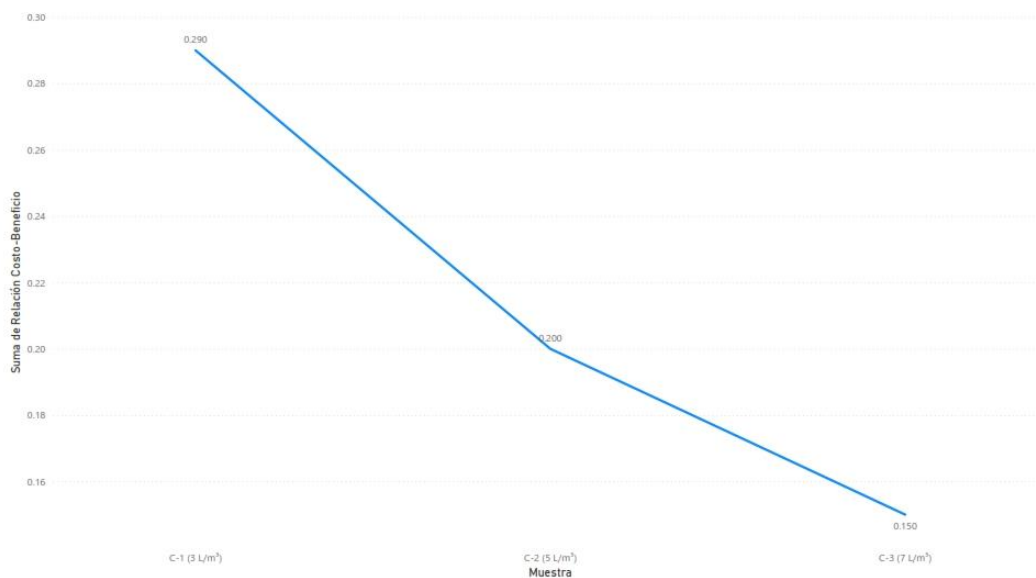


Ilustración 15 Suma de costo total de implementación (s/) por muestra

Fuente: Propia

La imagen muestra la "Suma de Costo Total de Implementación (S/)" según tres muestras distintas identificadas como C-3 (7 L/m<sup>3</sup>), C-2 (5 L/m<sup>3</sup>) y C-1 (3 L/m<sup>3</sup>). Se observa que a mayor caudal (L/m<sup>3</sup>), el costo de implementación es más alto: la muestra C-3 presenta el costo más elevado con aproximadamente 3.34 millones de soles, seguida por C-2 con 2.53 millones, y finalmente C-1 con 1.72 millones. Esto sugiere una relación directa entre el volumen de tratamiento o demanda y el costo total de implementación.



*Ilustración 16 Gráfica de suma de relación costo-beneficio por muestra*

*Fuente: Propia*

La imagen presenta la "Suma de Relación Costo-Beneficio" según tres muestras con diferentes caudales: C-1 (3 L/m<sup>3</sup>), C-2 (5 L/m<sup>3</sup>) y C-3 (7 L/m<sup>3</sup>). Se percibe una tendencia descendente en la relación costo-beneficio a medida que incrementa el caudal, indicando que la eficiencia económica disminuye con muestras de mayor volumen. La muestra C-1 presenta la relación más alta con un valor de 0.290, seguida por C-2 con 0.200 y finalmente C-3 con la menor relación de 0.150. Esto sugiere que, aunque el costo de implementación sea menor para menores cantidades, la rentabilidad relativa de la inversión es mayor, lo cual es un factor crítico a considerar para la toma de decisiones en proyectos.

**Discusión:**

Los resultados alcanzados posteriormente de efectuar el ensayo granulométrico nos señala que estamos delante de suelos arcillosos arenoso, mezcla arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (CL) y Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas (CH), de acuerdo a la clasificación SUCS y el método AAASHTO que los suelos son A-6(7), al integrarse el polímero en dosificación 1:4 (polímero: agua), el material de afirmado aumentado el valor de CBR de 4.10% a 10.90% en la calicata C-01, de 4.10% a 7.22% en la calicata C-02 y de 3.56% a 8.42% en la calicata C-03; se evidencia que el estabilizador Z con polímero mejora notablemente las propiedades físicas del suelo, estas respuestas positivas coinciden con el estudio desarrollado por en la tesis “Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)” para alcanzar la estabilización y el aumento del valor de CBR, cabe mencionar que la administración de polímeros no involucra mayor costo en relación con un camino asfaltado, en consecuencia se confirma que los resultados son confiables .

Cabe resaltar que este tipo de estabilizante actúa como un componente paleativo, es decir impide que el suelo se traslade a causa del viento como se puede suceder en los suelos finos con arenas, al conservarlos húmedos el estabilizante responde quebrantando las tensiones superficiales que se encuentran en medio de las partículas del suelo, permitiendo una cohesividad deseable y aglomeración, lo que el suelo arenoso no posee. También este suceso hace que reduzca la porosidad y espacios vacíos del suelo en la compactación.

De acuerdo con la tesis “Influencia estabilizador Z con polímeros para mejorar propiedades mecánicas de subrasante en carretera playa El Alambre a playa El Brujo del km 0.00 al km 8.00, Aacope, 2022” en sus resultados nos señala que el estabilizador Z con polímero influye en la densidad seca de los suelos logrando que sea óptima, el valor máximo obtenido fue de 1.73 g/cm<sup>3</sup> y en la capacidad de soporte de los suelos arenosos. Si verificamos los resultados alcanzados en nuestra investigación podemos concluir que el estabilizador Z ayudo a mejorar la densidad seca de los suelos, con un valor máximo de 1.97 g/cm<sup>3</sup>, se visualiza mejora en la disposición de obtener mejor adherencia.

Según Barreto Cerrate en su tesis de “Aplicación del estabilizador Z con polímero para mejorar el material de afirmado en la Av. 11 de enero, Asociación Villas de Ancón, Lima, 2020”, nos afirma que el ensayo de límite de Atterberg para poder determinar el

índice de plasticidad, el autor señala que los resultados que se emitió en la muestra patrón fue de 16%, en tanto al añadir el 2% del estabilizador resulto 16%, no hubo cambio, se le añadió el 4% del estabilizador z con polímero el cual dio como resultado 21%, aumento un 5% y para finalizar se añadió el 6% del estabilizador z con polímero y dio como resultado 13% y tuvo una reducción del 3%, sin embargo comparando con nuestros resultados el índice de plasticidad de 14%, 29% y 33% de forma respectiva a las calicatas de nuestra muestra patrón, pero sin embargo al añadir el estabilizador con polímero encontramos cambios ya que disminuyen notablemente a 12%, 10% y 13%, llegando a confirmar lo que dice el autor, el cual el índice de plasticidad varían, disminuyendo notablemente.

## Conclusiones

Los resultados del ensayo CBR (Relación de Soporte de California) indican que el suelo en estudio tiene una capacidad de soporte variable, dependiendo de la densidad seca máxima y el porcentaje de compactación alcanzado. A un 95% de la MDS, los valores de CBR son de 4.10% para C-01, 4.91% para C-02, y 3.56% para C-03. Al aumentar la compactación al 100%, los valores de CBR mejoran significativamente, alcanzando 6.45% para C-01, 7.10% para C-02, y 7.98% para C-03.

Los ensayos de límites de Atterberg revelan que el límite líquido (LL) del suelo varía considerablemente entre las muestras. Los valores obtenidos son 23% para C-01, 51% para C-02 y C-03. Esto indica una variabilidad significativa en la plasticidad del suelo entre las diferentes calicatas, reflejando la heterogeneidad del terreno en estudio.

La adición del estabilizador polímero Z ha modificado las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Por ejemplo, en la muestra C-01, al adicionar 3%, 5% y 7% de polímero, el índice de plasticidad (IP) disminuye, lo que sugiere una mejora en la manipulabilidad y las características del suelo. Los cambios en el límite líquido y el índice de plasticidad reflejan una mejoría notable en la estabilidad y la resistencia del suelo.

La incorporación del polímero no solo mejora las características del suelo, sino que también presenta una alternativa costo-efectiva comparada con métodos más convencionales como el pavimentado. Además, el uso de polímeros puede ofrecer beneficios adicionales como la reducción de la erosión y mejor resistencia a las condiciones climáticas, lo que se significa un mantenimiento menos frecuente y costoso.

## **Recomendaciones**

Se recomienda persistir con la investigación en diferentes tipos de suelo, lograr ver el comportamiento del material de afirmado con la incorporación del estabilizador con polímero, para demostrar los resultados positivos que tiene al usarlo, dando solución al mejoramiento de propiedades y consigo mejor vida útil del material.

Se debe ejecutar pruebas de permeabilidad para calcular el impacto del estabilizador en el coeficiente de permeabilidad de los diferentes tipos suelos, es por eso que será necesario utilizar otras dosificaciones en próximas investigaciones, para verificar si alcanzan los parámetros necesarios que señala el manual sobre índice de plasticidad y así obtener resultados más confiables, que cumpla con la norma implantada.

Se indica evaluar la influencia de costo del uso del estabilizador Z con polímero relacionándolo con otros aditivos que hay en el mercado, verificando cuál de ellos es más adecuado, sin embargo, en esta tesis demostramos que nuestro estabilizador tiene mejores resultados con un precio muy accesible.

## Bibliografía

- [1] P. Kumar and A. J. P. a. S. S. C. Congress, "Comparative assessment of expansive soil stabilization by commercially available polymers," *Transportation Geotechnics*, vol. 24, no. 100387, 2020.
- [2] H. S. Abdulwaheda, K. R. Mahmood y A. H. A. Kareem, «Strength and Stiffness of a Geopolymer-treated Clayey Soil for Unpaved Roads,» *Iraqi Journal of Civil Engineering*, vol. 15, n° 1, pp. 1-9, 2021.
- [3] S. Rios, C. Ramos, A. V. d. Fonseca, N. Cruz and C. Rodrigues, "Colombian Soil Stabilized with Geopolymers for Low Cost Roads," *Procedia Engineering*, vol. 143, no. 1, p. 1392–1400, 2016.
- [4] N. Hanegbi and I. Katra, "A Clay-Based Geopolymer in Loess Soil Stabilization," *Applied sciences*, vol. 10, no. 2068, p. 7, 2020.
- [5] J. D. Nelson, K. C. Chao, D. D. Overton and E. J. Nelson, *Foundation engineering for expansive soils*, Nueva Jersey: Wiley, 2015.
- [6] A. Ardani, "Expansive Soil Treatment Methods in Colorado," *Technical Report*, vol. 1, no. 1, p. 41, 1992.
- [7] H. S. Abdulwahed, K. R. Aljanabi and A. H. Abdulkareem, "Optimization of equivalent modulus of RAP-geopolymer-soil mixtures using response surface methodology," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 1, no. 1018-3639, p. 10, 2022.
- [8] M. Singh, A. Trivedi and S. K. Shukla, "Evaluation of geosynthetic reinforcement in unpaved road using moving wheel load test," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 50, no. 4, pp. 581-589, 2022.
- [9] K. O. Babaali, E. Zigh, M. Djebbouri and O. Chergui, "A new approach for road extraction using data augmentation and semantic segmentation," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 28, no. 3, p. 1493~1501, 2022.
- [10] T. M. Petry and D. N. Little, "Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 14, no. 6, p. 447–60, 2002.

- [11] P. K. Kolay, B. Dhakal, S. Kumar and V. K. Puri, "Effect of Liquid Acrylic Polymer on Geotechnical Properties of Fine-Grained Soils," *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, vol. 2, no. 9, 2016.
- [12] D. S. V. E. K. M. D. V. K. P. P. O. B. V. D. Devarajan Parthiban, "Role of industrial based precursors in the stabilization of weak soils with geopolymer – A review," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, no. 2214-5095, 2022.
- [13] A. M. J. R. D. P. R. V. D.S. Vijayan, "Evaluation of the impact of thermal performance on various building bricks and blocks: A review," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 23, no. 2352-1864, 2021.
- [14] P. D. J. V. D. G. L. J.L. Provis, "The Role of Mathematical Modelling and Gel Chemistry in Advancing Geopolymer Technology," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 8, no. 7, pp. 853-860, 2005.
- [15] Curitomay, "Estabilización de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera Pucaloma - Yanayacu, distrito de Socos," socos, 2018.
- [16] S. E. Quezada Osoria, "Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación," 2018.
- [17] J. Lopez and G. Ortiz, "Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización san Luis de la ciudad de Abancay," Abancay, 2018.
- [18] O. G. Labajos and J. H. S. Núñez, "Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada," *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2020.
- [19] CarbajalD, "“INFLUENCIA DEL ADITIVO CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA TRAMO CRUCE EL PORONGO- AEROPUERTO- CAJAMARCA," CAJAMARCA, 2019.
- [20] Z. Y. Alejandra and C. Z. Manuel, "Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)," Universidad de Especialidades Espiritu Santo, Samborondon, 2016.
- [21] C. Ñ. Visayda and H. G. Zayda, "Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento de valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103, Tramo Puente Ullpuhuaycco- Karkatera (L=14.050 kms)

- Abancay- Apurímac 2018," Universidad Tecnológica de los Andes , Abancay- Apurímac, 2018.
- [22] M. M. M. Jesus and R. C. C. Marisol, "INFLUENCIA ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS PARA MEJORAR PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUBRASANTE EN CARRETERA PLAYA EL ALAMBRE A PLAYA EL BRUJO DEL KM 0.00 AL KM 8.00, ASCOPE, 2022," Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2022.
- [23] A. Y. Barreto Cerrate, "“Aplicación del estabilizador Z con polímero para mejorar el material de afirmado en la Av. 11 de enero, Asociación Villas de Ancón, Lima, 2020," 2020.
- [24] J. B. Eulalio and R. R. Alfonso, Mecánica de Suelos, México: Limusa Noriega Editores, 2005.
- [25] C. Y. G. Paoli, «Correlación número de golpes DCP vs Penetración CBR in situ para resistencia al esfuerzo normal depavimentos urbanos, Lambayeque 2018,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2019.
- [26] MTC, Manual de Carreteras "Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos", Lima, 2014.
- [27] A. R. Mariselda and Z. P. C. Nicol, "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019," Univercidad Científica del Perú- UCP, San Juan Bautista-Loreto, 2020.
- [28] C. O. N. Saúl y N. A. K. Jeison, «Determinación de factores influyentes en el deterioro de carreteras no pavimentadas para detallar el mantenimiento,» Universidad César Vallejo, Lima, 2021.
- [29] G. S. M. Antonio, "Gestión de Carreteras No Pavimentadas," Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2017.
- [30] G. S. K. Jordan, «Estabiliación de Suelo Cohesivo incorporando aditivo sika Dust Seal en la trocha carrozable Yencal Boggiano-Lambayeque,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2022.
- [31] C. B. Kevin y F. C. A. J. Carlos, «EVALUACIÓN DE LAS CENIZAS DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ACTIVACIÓN ALCALINA Y APLICACIÓN EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2016.

- [32] M. R. Garcia and M. J. S. Mendoza, "“NIVEL DE EFICIENCIA DEL MÉTODO DE FOTOGRAFÍAS DIGITALES EN LA DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA EN COMPARACIÓN CON EL MÉTODO TRADICIONAL,” 2018.
- [33] C. Ñ. Visayda and H. G. Zayda, "Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento de valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103, Tramo Puente Ullpuhuaycco- Karkatera (L=14.050 kms) Abancay- Apurímac 2018," Universidad Tecnológica de los Andes , Abancay- Apurímac , 2018.
- [34] P. M. L. Solange, "Análisis comparativo entre los valores del Límite Líquido obtenidos por Copa de Casagrande y Penetrómetro de Cono para suelos finos del Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza," Universidad Tecnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2021.
- [35] C. L. A. Sebastián, "Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico," Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2012.
- [36] T. L. L. Alberto, "Correlación del límite de contracción y la actividad coloidal en suelos arcillos, La Victoria-Lambayeque 2019," Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2019.
- [37] E. A. Sandoval-Vallejo and W. A. Rivera-Mena, "Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 29, no. 1, pp. 135-151, 2018.
- [38] S. V. M. Victoria, "CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE CBR Y EL ENSAYO DEL PRÓCTOR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA PARROQUIA AMBATILLO ALTO EN EL SECTOR DE SAN PEDRO," Universidad Tecnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2016.
- [39] V. R. J. Alexander and M. I. D. Nerea, "CORRELATIVIDAD DE COMPACTACIÓN DE SUELOS ENTRE LA PRUEBA DE DENSIDAD DE CAMPO Y EL MINI MARTILLO DE PENETRACIÓN DE DINAMICA LIGERA EN LA CARRETERA ZUNGAROCOCHA 2019," Universidad Científica del Perú , Iquitos, 2021.

## Anexos

### Anexo Ubicación de la Investigación:



*Anexo I: Calicatas señaladas*

### Anexo Hoja Técnica del Estabilizador Z con polímeros

## HOJA TÉCNICA

**ESTABILIZADOR Z  
CON POLIMEROS**

Estabilizador de suelos

**DESCRIPCIÓN:**

Producto líquido de color blanco en base a polímeros acrílicos, destinados a cohesionar las partículas de suelos en materiales de prestación (Afirmado) como en suelos naturales. Brinda un mayor tiempo de vida útil a las vías no asfaltadas, reduce la erosión en temporadas de lluvias y en temporadas secas reduce la polución y contaminación del medio ambiente. Cumple con la norma MTC 809 - 2004.

**USOS:**

- En la construcción de pavimentos rígidos o flexibles.
- En la construcción de vías no asfaltadas.
- En el mejoramiento de vías de suelo natural.
- En aplicaciones superficiales como supresor de polvo.
- En zonas de estacionamiento que no contemple losa de concreto o carpeta asfáltica.

**VENTAJAS:**

- Mejora la cohesión y compactación en materiales de prestación (Afirmado) y en suelos naturales.
- Brinda mayor tiempo de vida útil en las vías no pavimentadas.
- Evita la generación de polvo en las vías no pavimentadas.
- Evita la erosión por efectos de lluvias.
- Fácil preparación y aplicación.

**APLICACIÓN:**

**Material de afirmado o suelo natural.**

- El producto debe mezclarse con el agua de preparación del material de prestación, en una proporción de 1 : 4 (ESTABILIZADOR Z CON POLIMEROS : AGUA)
- Adicionar la mezcla antes preparada en partes, brindar los tiempos establecidos de mezclado con el material de afirmado o suelo natural, hasta alcanzar una homogeneidad de la humedad en toda la mezcla.
- Cargar a los camiones que transportaran el material hasta la zona de trabajo.
- Vaciar, extender el material con una motoniveladora, para luego realizar su proceso de compactación con rodillo.

**Como supresor de polvo.**

- Preparar la mezcla de ESTABILIZADOR Z CON POLIMEROS con agua en una proporción de 1:4 puede ser en volumen o en peso.
- Brindar los tiempos adecuados para que se mezclen ambos líquidos hasta conseguir una mezcla homogénea, libre de segregación o sedimentación.
- Cargar toda la mezcla preparada a un camión cisterna que realice el regado en la vía o zona que se quiere suprimir el polvo.
- Aplicar el producto mediante el camión cisterna en 2 etapas para garantizar que el producto cubra por completo la zona que se desea mejorar.

**RECOMENDACIONES:**

- Tener en cuenta que el rendimiento del producto puede variar dependiendo el tipo de material con el que se trabaje.
- En la preparación de material de afirmado. La puesta en servicio de la vía puede ser una vez terminado el proceso de compactación con rodillo.
- Aplicado como supresor de polvo, se recomienda brindar el tiempo prudente para que el suelo absorba el producto, antes que se ponga en servicio la vía. Estos tiempos pueden variar dependiendo las temperaturas en la zona de trabajo.
- Se recomienda mantener el producto en su envase original y almacenado entre 15° a 35° bajo techo. Para evitar la contaminación del producto.

**INFORMACIÓN TÉCNICA:**

Apariencia	Líquido
Color	Bianco azulado
Película	Transparente, flexible, semi elástica
Densidad	1,02 ± 0,02
PH	6 - 7
Contenido de sólidos	51 ± 1
Viscosidad Brookfield	20,000 - 30,000 cps

**RENDIMIENTO:**

Material de prestación. 1 gal : 4 gal (ESTABILIZADOR : AGUA) rinde para 1 m<sup>3</sup> de material de afirmado.

Supresor de polvo. 1 gal : 4 gal (ESTABILIZADOR : AGUA) rinde para 25 m<sup>2</sup> de área.

**PRESENTACIÓN:**

Balde por 1 galón  
Balde por 5 galones  
Cilindro por 55 galones

**SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE:**

- El producto puede ser irritante considerar lo siguiente:
- Evitar el contacto directo con el producto ya que puede causar sensibilización cutánea, mantenerlo los recipientes cerrados cuando no esté en uso.
- Almacenar y aplicar el producto en un sitio fresco y bien ventilado, protegido de temperaturas extremas y de rayos solares directos.

*Anexo 2: Estabilizador de suelos*

**Anexo Panel Fotográfico:**

*Anexo 3: Extracción de Calicatas en el Distrito de Picsi*



*Anexo 4: Muestra separada para realizar Ensayos*



*Anexo 5: Calicata con adición*



*Anexo 6: Muestra en laboratorio*



*Anexo 7: Peso de tara con muestra*



*Anexo 8: Realización de ensayos de laboratorio*

## Anexo Ensayos de Laboratorio

**CERTIFICADO DE ENSAYO:**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD - LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLÁSTICO**

PROYECTO:	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO *		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE FERREÑAFE, PROVINCIA DE FERREÑAFE, DEPARTAMENTO DE PISCO		
CONSULTOR:	-		
TESISTA:	LORIELLY ACRUNA GÓMEZ MOLANTE		
FECHA DE ENSAYO:	08 de Setiembre de 2023	CODIGO DE EXPEDIENTE:	003-2023 GEHESA

MUESTRA: C-1	CAJA: M-1	UBICACIÓN: 0.40 m - 1.80 m
--------------	-----------	----------------------------

DATOS DE ENSAYO	
N° TARRO	5-06
TARRO = SUELO HUMEDO	2563
TARRO = SUELO SECO	2022
PESO DEL AGUA	341
PESO DEL TARRO	301
PESO DEL SUELO SECO	1921
PORCENTAJE DE HUMEDAD	12.55%

VOLUMEN DE AGUA EN MUESTRA (ml)

DATOS DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO		
N° TARRO	1 LP-10	1 LP-05	1 LP-6
N° DE GOLPES	40	34	15
TARRO=SUELO HUMEDO	64.65	72.65	71.33
TARRO=SUELO SECO	58.30	66.45	65.00
AGUA	6.35	8.20	8.33
PESO DEL TARRO	28.50	28.90	27.90
PESO DEL SUELO SECO	29.80	36.15	35.10
% DE HUMEDAD	21.31	22.68	23.73

CURVA DE FLUJOS

DATOS DE ENSAYO	LIMITE PLÁSTICO		
N° TARRO	C-12	C-07	PROM.
TARRO=SUELO HUMEDO	33.15	33.53	19.85
TARRO=SUELO SECO	33.14	32.15	19.52
AGUA	2.01	1.38	1.70
PESO DEL TARRO	14.20	14.30	14.25
PESO DEL SUELO SECO	18.94	17.81	18.40
% DE HUMEDAD	10.61	7.73	9.37

SUELO NO PLÁSTICO	NO
-------------------	----

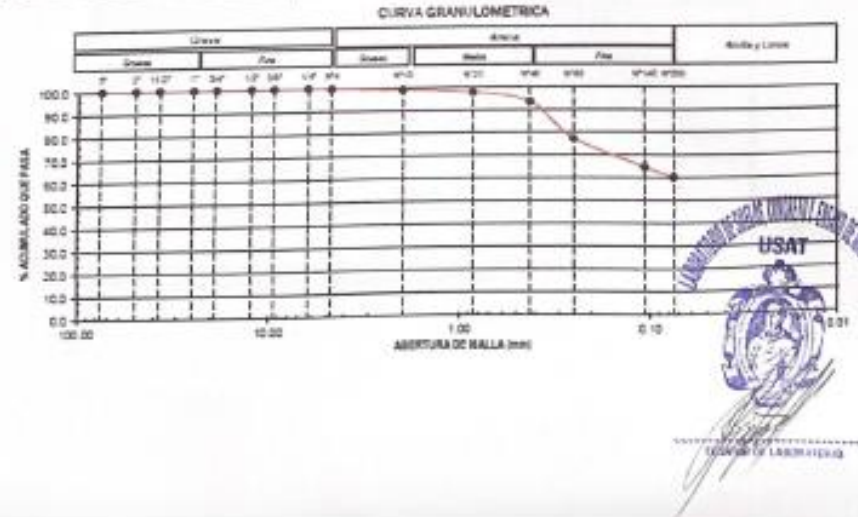
RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO (L.L.)	23
LIMITE PLÁSTICO (L.P.)	9
INDICE PLÁSTICO (I.P.)	14

**CERTIFICADO DE ENSAYO**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - PORCENTAJE QUE PASA TAMIZ N° 200**

PROYECTO:	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES ÍNDICES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMERO *		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE FERREÑAFÉ, PROVINCIA DE FERREÑAFÉ, DEPARTAMENTO DE PIURA		
CONSULTOR:			
SOLICITANTE:	LIRELEY ADELINA GÓMEZ MORAÑTE		
FECHA DE ENSAYO:	setiembre 4 de Setiembre de 2023	CÓDIGO DE EXPEDIENTE:	905-2023-070705A

MUESTRA: C-1      CAPA: M-1      UBICACION: 0.40 m - 1.80 m

DATOS DE LA MUESTRA		TAMICES		PESO RETENIDO	PESO RETENIDO O MUESTRA FINA	PESO RETENIDO O FRACCION FINA	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMUL.	% QUE PASA
PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr)		(No)	(mm)						
PESO FRACCION GRUESA SECA NATURAL (gr)	0.00	2"	75.000	0.00			0.00	0.00	100.00
		2"	50.000	0.00			0.00	0.00	100.00
		1 1/2"	37.500	0.00			0.00	0.00	100.00
PESO FRACCION GRUESA LAVADA (gr)	1.10	2"	25.000	0.00			0.00	0.00	100.00
		3/4"	19.000	0.00			0.00	0.00	100.00
		1/2"	12.500	0.00			0.00	0.00	100.00
PESO FRACCION FINA (gr)	473.30	3/8"	9.500	0.00			0.00	0.00	100.00
		1/4"	6.500	0.00			0.00	0.00	100.00
		N°4	4.750	1.50			0.32	0.32	99.68
RELACION FRACCION FINA/MUESTRA (gr)	1.00	N°10	2.000	0.00	3.53	3.52	0.74	1.06	98.94
		N°20	0.810	0.00	6.74	6.72	1.41	2.47	97.53
		N°40	0.425	0.00	20.18	20.12	4.24	6.71	93.29
		N°60	0.250	0.00	76.72	76.48	16.10	22.81	77.19
		N°140	0.106	0.00	60.39	60.20	12.67	35.48	64.52
		N°300	0.075	0.00	22.37	21.90	4.48	39.96	60.04
		N°200 FONDO	473.30	286.97	287.17	60.04	100.00	0.00	



**CERTIFICADO DE ENSAYO:**  
**CLASIFICACION DEL SUELO**

PROYECTO:	ESTABILIZACION DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCION DEL ESTABILIZADOR 2 CON PALMERO*		
UBICACION:	DISTRITO DE FERREÑAFE, PROVINCIA DE FERREÑAFE, DEPARTAMENTO DE PIUMI		
CONSULTOR:			
SOLICITANTE:	LORELEY ACRILIA GOMEZ MORANTE		
FECHA DE ENSAYO:	enero, 8 de Setiembre de 2012	CODIGO EXPERIENTE:	001-2011-GEORUTA

MUESTRA:	C-1	CAPA:	M-1	UBICACION:	0.45 m - 1.00 m
----------	-----	-------	-----	------------	-----------------

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
CONTENIDO DE HUMEDAD	12.55 %
LMITE LIQUIDO	23 %
LMITE PLASTICO	0 %
INDICE PLASTICIDAD	14 %
MATERIAL PASA MALLA N° 200	60.04 %
MATERIAL PASA MALLA N° 4	89.68 %
MODULO DE FUEZA	0.7
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.1
COEFICIENTE DE CURVATURA	1.0

CLASIFICACION SUCS	CL
DESCRIPCION DEL SUELO SUCS	Arilla arenosa de baja plasticidad
CLASIFICACION AASHTO	A-6 (7)
DESCRIPCION DEL SUELO AASHTO	SALO

**Observaciones:**

\* Normativa  
 2079 100 134 1869: Suelos. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.  
 2079 100 137 1299: Suelos. Método para la clasificación de suelos para uso en carreteras.









**CERTIFICADO DE ENSAYO:**  
**CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES**

PROYECTO:	ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARELLOSO CON DIFERENTES NIVELES DE PLASTICIDAD POR ACCIÓN DEL ESTABILIZADOR 2 CON POLÍMERO *		
UBICACIÓN:	DISTRITO DE FERREÑAFE, PROVINCIA DE FERREÑAFE, DEPARTAMENTO DE RÍMAC		
CONSULTOR:	-		
SOLICITANTE:	LOPELEY ADRIANA GÓMEZ MORANTE		
FECHA DE ENSAYO:	enero del 8 de Setiembre de 2023	CÓDIGO DE EXPEDIENTE:	00-2023 GEORICA
MUESTRA:	C-1	CAPA:	M-1 UBICACIÓN: 0-40 m - 1.00 m

1 DATOS					
Nº	Descripción	Unidad	A	B	PROSE
1.1	Muestra				
1.2	Peso de muestra	g	55	55	-
1.3	Volumen de agua destilada	ml	250	250	-
1.4	Número de botlas	-	55-7	55-6	-
1.5	Peso de botlas	g	25.45	25.48	-
1.6	Peso de botlas + resultado de sales	g	27.21	26.07	-
1.7	Volumen de solución ensayado	ml	50	50	-

2 CÁLCULOS					
Nº	Descripción	Unidad	A	B	PROSE
2.1	Relación muestra seco - agua destilada	-	4.55	4.55	-
2.2	Resultado de sales	g	1.76	1.17	-
2.3	Concentración de sales solubles totales	ppm	10000	10034	10010
2.4	Concentración de sales solubles totales en peso seco	(%)	10.00%	10.04%	10.02%

Observación:

-Nuestro

MTF 109 112 1998. Sales. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua estancada



**CERTIFICADO DE ENSAYO:**  
**CLASIFICACION DEL SUELO**

PROYECTO:	ESTABILIZACION DE UN SUELO ARCILLOSO CON DIFERENTES INDICES DE PLASTICIDAD POR ACCION DEL ESTABILIZADOR Z CON POLIMEROS		
UBICACION:	PROVINCIA DE CHELAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, DISTRITO DE PICH		
CONSULTOR:			
SOLICITANTE:	LORELEY ADRIANA GOMEZ MORANTE		
FECHA DE ENSAYO:	enerales, 6 de Setiembre de 2023	CODIGO EXPEDIENTE:	0010-2023-GROBESA

MUESTRA:	C-2	CAPA:	M-1	UBICACION:	6.30 m - 1.80 m
----------	-----	-------	-----	------------	-----------------

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
CONTENIDO DE HUMEDAD	21.56 %
LIMITE LIQUIDO	51 %
LIMITE PLASTICO	22 %
INDICE PLASTICIDAD	29 %
MATERIAL PASA MALLA Nº 200	81.31 %
MATERIAL PASA MALLA Nº 4	89.96 %
MODULO DE PENEZAS	0.2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.2
COEFICIENTE DE CURVATURA	1.3

CLASIFICACION SUCS	CH
DESCRIPCION DEL SUELO SUCS	Arilla de alta plasticidad
CLASIFICACION AASHTO	A-7-6 (1E)
DESCRIPCION DEL SUELO AASHTO	MALO

**Observaciones:**

- Muestra

NTD 329 134 1988 Soeio: Metodo para la clasificacon de suelos (empregados de la geotecnia. Sistema Unificado de Clasificacon de Suelos, SUCS.

NTD 329 131 1989 Soeio: Metodo para la clasificacon de suelos para uso en obras de terrapleno.



