

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo
arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jairo Marcelo Ramírez Bazán

Adrián Hostin Chávez Gamarra

ASESOR:

Juan Pablo Zamora Beyk


Lima, octubre, 2025

Informe de Similitud

Yo, Juan Pablo Zamora Beyk, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE UN POLÍMERO DE ESTIRENO ACRÍLICO SOBRE UN SUELO ARENOSO DE UNA VÍA NO PAVIMENTADA EN SAN ANTONIO DE JICAMARCA, de los autores Jairo Marcelo Ramírez Bazán y Adrián Hostin Chávez Gamarra, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 24/10/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierten indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 25 de octubre de 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Zamora Beyk, Juan Pablo	
DNI: 42867511	Firma 
ORCID: 0000-0002-0849-6958	

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres y hermanos por su apoyo y confort incondicional para la culminación de esta etapa académica. A nuestro asesor, Juan Pablo Zamora Beyk, por su orientación y recomendaciones durante la elaboración de la tesis.



RESUMEN

La red vial de Perú clasifica a las carreteras como pavimentadas y no pavimentadas, estas últimas representan el 84% y se categorizan como afirmadas, sin afirmar y trochas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). La carretera no pavimentada es aquella que no cuenta con una capa de rodadura de asfalto o concreto. Sin embargo, es mejorada con material externo, como afirmado o suelo gravoso, o tratada con aditivos que mejoren sus propiedades mecánicas, como cemento, cal, entre otros.

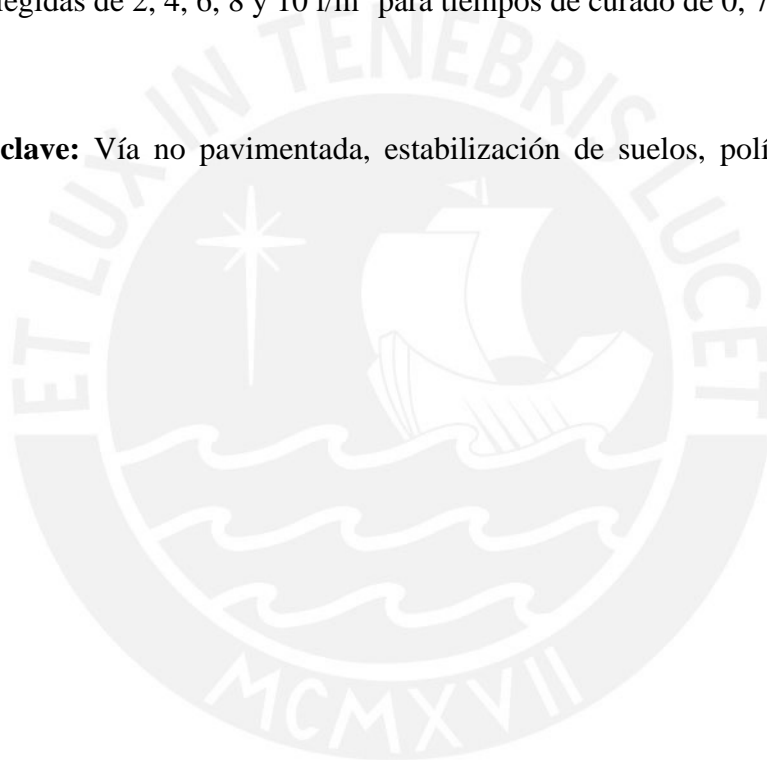
Según los datos proporcionados por Provías Nacional (2020), solo el 14% de la red vial no pavimentada se encuentra en buen estado, esto quiere decir que esta no ha sido afectada en gran medida por factores naturales, como las lluvias, deslizamientos de tierra, inundaciones, entre otros; y factores cotidianos, como el transporte de carga pesada, tránsito de maquinaria pesada, contaminación por residuos orgánicos, entre otros. A raíz de este problema, se investigó acerca de medidas para el mantenimiento y mejora de las propiedades en el suelo mediante la aplicación de aditivos, con lo que se evita el deterioro y se prolonga el tiempo de vida de las vías no pavimentadas. Dentro de estos aditivos se encuentra un producto a base de un polímero de estireno acrílico, el cual sirve como estabilizador y controlador de levantamiento de polvo, además, sirve como reparador y sellador para caminos pavimentados y no pavimentados.

El presente trabajo se basa en el estudio de la aplicación de este producto mencionado, en distintas dosificaciones y tiempo de curado (para el caso de la presente investigación, también entendido como secado de la emulsión polímero-agua), sobre muestras de suelo arenoso limoso obtenida de una vía no pavimentada ubicada en el poblado de San Antonio de Jicamarca, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. El propósito de esta aplicación es conocer cuál es la dosificación óptima que puede mezclarse con el suelo y su influencia en las propiedades físico-mecánicas del suelo, con mayor énfasis en el CBR (California Bearing

Ratio).

El desarrollo de este estudio experimental se basó en tomar muestras de calicatas para realizar ensayos de laboratorio y determinar sus características físicas y mecánicas. Los ensayos realizados para revisar las características físicas fueron los siguientes: ensayo granulométrico, contenido de humedad, límites de consistencia y gravedad específica. Para las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de compactación tipo Proctor modificado y ensayo CBR, las cuales corresponden a pruebas con el suelo en su estado natural y con las dosificaciones elegidas de 2, 4, 6, 8 y 10 l/m³ para tiempos de curado de 0, 7 y 28 días.

Palabras clave: Vía no pavimentada, estabilización de suelos, polímero de estireno acrílico, CBR.



ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ÍNDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Objetivos	4
1.5. Alcances y Limitaciones	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Pavimentos	5
2.1.1. Definición	5
2.1.2. Tipos de pavimentos.....	7
2.1.2.1. Rígido.....	7
2.1.2.2. Flexible	8
2.1.2.3. No pavimentado	9
2.2. Estabilización de suelos	10
2.2.1. Estabilización mecánica	11
2.2.2. Estabilización química.....	12
2.2.2.1. Tipos de estabilizadores químicos	12
2.2.2.2. Estabilización con polímeros	14

2.3. Polímeros.....	16
2.3.1. Clasificación de polímeros	16
2.3.2. Aplicaciones y usos	17
2.4. Polímero de estireno acrílico.....	18
2.4.1. Descripción.....	18
2.4.2. Propiedades físicas y químicas	19
2.4.3. Aplicación como estabilizador de suelos.....	21
3. REVISIÓN DE LA LITERATURA	24
3.1. Artículos científicos	24
3.2. Trabajos de tesis	29
4. METODOLOGÍA.....	35
4.1. Diseño, tipo y enfoque de la investigación	35
4.2. Procedimiento.....	35
5. CASO DE ESTUDIO.....	39
5.1. Zona de estudio	39
5.2. Recolección de muestras	41
5.3. Dosificación de PEA y tiempos de curado.....	42
5.4. Ensayos de laboratorio	44
5.4.1. Propiedades Índice.....	44
5.4.2. Propiedades Mecánicas.....	49
6. ANALISIS DE RESULTADOS	53
6.1. Ensayos de propiedades índice.....	53
6.1.1. Análisis granulométrico.....	53
6.1.2. Límites de Atterberg.....	54

6.1.3. Contenido de humedad	56
6.1.4. Gravedad específica.....	56
6.1.5. Clasificación de suelos	57
6.2. Ensayos de propiedades mecánicas.....	58
6.2.1. Ensayo Proctor modificado	58
6.2.2. Relación de soporte de California (CBR).....	60
6.3. Análisis económico	64
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
7.1. Conclusiones	66
7.2. Recomendaciones.....	71
8. BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	76
ANEXO 1: DOSIFICACIONES.....	76
ANEXO 1.1: Mezclas para ensayos de Proctor modificado	76
ANEXO 1.2: Mezclas para ensayos de propiedades índice y C.B.R.	82
ANEXO 2: ENSAYOS DE LABORATORIO.....	88
ANEXO 2.1: Análisis granulométrico	88
ANEXO 2.2: Contenido de humedad.....	94
ANEXO 2.3: Límites de Atterberg	95
ANEXO 2.4: Gravedad específica	101
ANEXO 2.5: Proctor modificado.....	107
ANEXO 2.6: Ensayo C.B.R.	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Estado de la red vial del programa anual de inversiones 2021/23	1
Figura 2.1: Componentes básicos de un sistema típico de pavimento, adaptado del trabajo de Federal Highway Administration (FHWA)	7
Figura 2.2: Componentes básicos de un sistema típico de pavimento, adaptado del trabajo de FHWA.....	8
Figura 2.3: Algunas variaciones comunes del sistema de pavimento flexible, adaptado del trabajo de FHWA.....	9
Figura 2.4: Carretera convencionalmente construida versus carretera estabilizada con AggreBind RM1.....	22
Figura 2.5: Desarrollo del CBR en el tiempo	22
Figura 2.6: Proceso de AggreBinding en un suelo	23
Figura 2.7: Proceso de reticulación de las partículas de un suelo.....	23
Figura 3.1: Valores de CBR de muestras estabilizadas con ESP-PWS, a- sumergido, b- no sumergido.....	25
Figura 3.2: Variación del límite líquido para diferentes contenidos de cemento y estabilizador de polímero para 1 día de curado, adaptado del trabajo de Rajoria & Kaur.....	28
Figura 3.3: Variación del CBR para diferentes contenidos de cemento y estabilizador de polímero para 1 día de curado, adaptado del trabajo de Rajoria & Kaur.....	29
Figura 3.4: Resultados del porcentaje de absorción, adaptado del trabajo de Mena	30
Figura 4.1: Flujograma de la investigación experimental.....	36
Figura 4.2: Excavación de calicata y recolección de muestra	37
Figura 4.3: Muestras almacenadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos PUCP.....	37
Figura 4.4: Secado al aire de las muestras	38
Figura 4.5: Mezcla líquida de polímero de estireno acrílico con agua	38

Figura 4.6: Muestras preparadas para ensayo CBR	39
Figura 4.7: Prensa de carga para el ensayo CBR	39
Figura 5.1: Vista satelital	40
Figura 5.2: Terreno de la zona de estudio	41
Figura 5.3: Recolección de muestra de calicata 2	42
Figura 5.4: Secado al aire para el cuarteo	46
Figura 5.5: Separación de muestra para Granulometría	46
Figura 5.6: Muestra que pasa la malla N° 10 para lavar	46
Figura 5.7: Muestras en el horno para el ensayo de humedad	47
Figura 5.8: Ensayo de límite líquido	48
Figura 5.9: Ensayo de límite plástico	48
Figura 5.10: Colocación de suelo en el picnómetro con agua para el ensayo de Gs	49
Figura 5.11: Picnómetros en la bomba de vacío para extraer el aire	49
Figura 5.12: Ensayo de Proctor modificado	51
Figura 5.13: Ensayo CBR	52
Figura 6.1: Curva granulométrica de las muestras de suelo	54
Figura 6.2: Límites de Atteberg de las muestras de suelo	55
Figura 6.3: Curvas de compactación de las muestras de suelo	59
Figura 6.4: Resultados de ensayos CBR (0.1") a 0 días de secado	61
Figura 6.5: Resultados de ensayos CBR (0.1") a 7 días de secado	61
Figura 6.6: Resultados de ensayos CBR (0.1") a 28 días de secado	62
Figura 6.7: Resultados de ensayos CBR al 100% de compactación con diferentes días de secado	62
Figura 6.8: Resultados de ensayos CBR al 95% de compactación con diferentes días de secado	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Categorías de Sub rasante	6
Tabla 2.2: Valor Relativo de Soporte, CBR en Subbase Granular (*)	6
Tabla 2.3: Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular (*)	6
Tabla 2.4: Resumen sobre categorías de estabilizadores no tradicionales.....	13
Tabla 2.5: Clasificación de polímeros, adaptado de Ávila	17
Tabla 2.6: Especificaciones técnicas del polímero de estireno acrílico.....	21
Tabla 3.1: Resultados de la resistencia a la compresión no confinada y potencial de hinchamiento.....	25
Tabla 3.2: Resultado de ensayo compactación de modificada, adaptado del trabajo de Radhia & Ahmed.....	27
Tabla 3.3: Resultado de ensayo CBR, adaptado del trabajo de Ahmed & Radhia	27
Tabla 3.4: Resultados de CBR al 100% de la máxima densidad seca	29
Tabla 3.5: Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión no confinada	30
Tabla 3.6: Resumen de resultados de CBR con aplicación del aditivo	32
Tabla 3.7: Clasificación según SUCS y AASHTO de muestras en estado natural, adaptado del trabajo de Curitomay.....	34
Tabla 3.8: Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero, adaptado del trabajo de Curitomay	34
Tabla 5.1: Localización de la zona de estudio	40
Tabla 5.2: Detalle de los ensayos seleccionados	44
Tabla 6.1: Porcentaje acumulado que pasa de las muestras de suelo	53
Tabla 6.2: Porcentajes de gravas, arenas y finos de las muestras de suelo.....	54
Tabla 6.3: Ensayos de Límites de Atterberg de las muestras de suelo	55
Tabla 6.4: Ensayo de humedad natural	56

Tabla 6.5: Gravedad específica de las muestras de suelo	57
Tabla 6.6: Resumen de resultados de ensayos de clasificación	58
Tabla 6.7: Resultados de compactación Proctor Modificado de las muestras de suelo.....	59
Tabla 6.8: Resumen de resultados CBR (0.1”)	63
Tabla 6.9: Comparación de resultados de análisis económico con valores CBR ₉₅ (0.1”)	64



LISTA DE SÍMBOLOS

CBR = California Bearing Ratio - Relación de soporte de California

CBR₉₅ = CBR obtenido de la compactación al 95% de la máxima densidad seca

CBR₁₀₀ = CBR obtenido de la compactación al 100% de la máxima densidad seca

CL = Arcilla de baja plasticidad

ESP = Eggshell Powder - Polvo de cáscara de huevo

G_s = Gravedad específica de los sólidos

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

IP = Índice de plasticidad

MTC = Ministerio de Transportes y Comunicaciones

PAM = Poliacrilamida

PEA = Polímero de estireno acrílico

PWS = Plastic Wastes Strips - Residuos plásticos

SC = Arena arcillosa

SM = Arena limosa

SN = Condición del suelo en estado natural

UCS = Unconfined Compressive Strength - Resistencia a la compresión simple

ω = Contenido de humedad

ω_{opt} = Contenido óptimo de humedad

ω_{rot} = Contenido de humedad de rotura en el ensayo de compresión simple

γ = Peso específico del suelo

γ_d = Peso específico seco del suelo

γ_{d-max} = Máxima peso específico seco del suelo



1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

En Perú las carreteras son de suma importancia para el crecimiento de una ciudad, esto se debe a que al implementarse una vía se permite el acceso a nuevos puntos destinados a comercios, turismos, actividades primarias entre otras (El Peruano, 2019). Actualmente la Red Vial se divide en tres: Red Vial Nacional (RVN), la Red Vial Departamental (RVD) y Red Vial Vecinal o Rural (RVV).

Según el Programa Anual de Inversiones 21/23 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), existen 168,359.2 km de red vial existente, de las cuales las trochas y vías sin afirmar no se encuentran pavimentadas o tratadas. De acuerdo con la Figura 1.1, la cantidad de vías no pavimentadas comprende aproximadamente el 84% de toda la red vial existente, por lo que la inversión para culminar la pavimentación es alta (MTC, 2020).

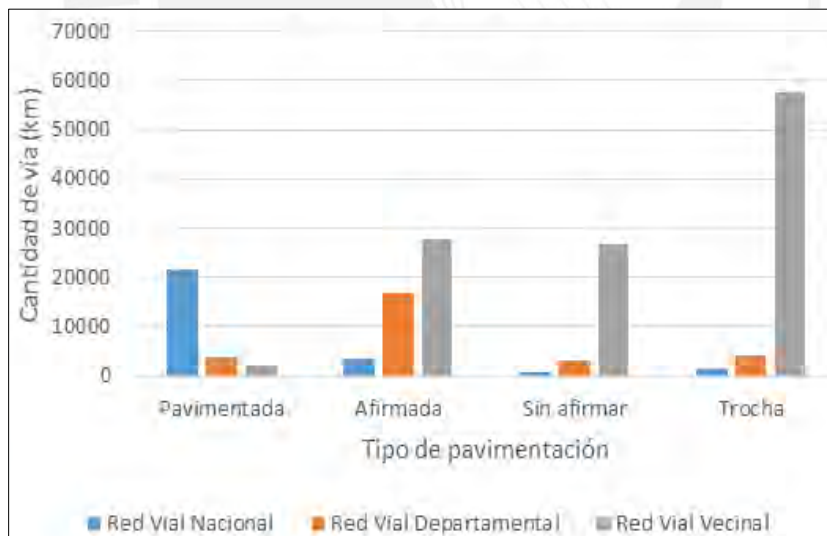


Figura 1.1: Estado de la red vial del programa anual de inversiones 2021/23 (MTC, 2020).

Para el tránsito de vehículos no es necesario que la vía se encuentre pavimentada. Sin embargo, el camino debe encontrarse en buen estado para evitar accidentes, conflictos de tránsito y fallas técnicas del transporte. Para mantenerlo en esta condición se realiza un mantenimiento periódico, el cual implica la intervención de maquinaria pesada y material

calificado para soportar las cargas de tránsito, lo que se traduce a mayor inversión y dificultad, en muchos casos, para adquirir las herramientas y materiales necesarios.

De esta manera, si se piensa en habilitar más accesos empleando soluciones como las vías no pavimentadas, las autoridades competentes podrían emplear esta opción como solución temporal o final según una evaluación posterior al camino implementado. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones plantea la estabilización de los suelos para el afirmado con cemento, cal, productos químicos, entre otros (MTC, 2014).

Sin embargo, frente a la respuesta inmediata de las autoridades, aún se ahondan problemas de igual importancia. Por un lado, las consecuencias de salubridad que genera el levantamiento continuo de polvo debido al desintegro de partículas por la acción física del tránsito vehicular en vías no pavimentadas, que conllevan a enfermedades respiratorias. Por otro lado, el tiempo de traslado que deriva en una consecuencia de conservación del vehículo. Por tales fundamentos, una mala metodología en la ejecución de vías genera directa e indirectamente problemas de salud, economía y transporte a gran parte de la población.

1.2. Justificación

Pobladores y autoridades concuerdan que el transporte hacia sus zonas o centros es una de las principales causas de distanciamiento a accesos de recursos de necesidad básica. Debido a la heterogeneidad y dificultades de transporte vehicular de regiones fuera de la costa de Perú, puede ser tedioso llegar a ciertos lugares, especialmente a la mala calidad de vías no pavimentadas. De acuerdo con la memoria anual de Provias Nacional (2020), solo el 14% de las vías no pavimentadas se encuentran en buen estado.

Una solución que se adopta para cubrir dicha necesidad es la de habilitar las vías no pavimentadas por medio de algún método de estabilización de suelos (química y mecánica). Particularmente la estabilización química implica la adición de un agente externo en el suelo, y tiene como fin la mejora de las capacidades del suelo in situ y su desempeño ante cargas.

Tradicionalmente, la estabilización de suelos se realizaba utilizando las características de compactación de suelos arcillosos, productos a base de cemento, y/o la utilización de tierra compactada y cal. Sin embargo, a raíz del avance de tecnologías, nuevos métodos incluyen el uso de materiales como: productos asfálticos, escorias de fundición, cloruro de sodio y calcio, y polímeros químicos (MTC, 2014), como es el caso del polímero estabilizador de estireno acrílico. El trabajo de investigación se propone ahondar en los beneficios que trae consigo la aplicación del mencionado polímero estabilizador al suelo de vías y accesos de la localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, las cuales además de encontrarse en su mayoría no pavimentadas, presentan una superficie en estado desgastado y deterioro.

En el caso del polímero de estireno acrílico, este se ubica dentro de las nuevas tecnologías clasificada como verde de acuerdo con la Sociedad Nacional de Ingenieros Profesionales (SNIP). Por esta razón, lo convierte en una opción viable y ecológica para la estabilización de caminos y suelos en general. Abarca el tratamiento de todo tipo de suelos para el mantenimiento y control de polvo de carreteras y caminos. Sobre ello se tiene demasiada información, sin embargo, en el país no se han desarrollado investigaciones suficientes respecto a su aplicación. Por ello, se espera que el presente trabajo sirva como base para futuras investigaciones dedicadas a la innovación de una política de construcción de vías pavimentadas y no pavimentadas, proporcionándolas de una mayor calidad y durabilidad.

1.3. Hipótesis

La investigación estudia la influencia del polímero de estireno acrílico (PEA) en el suelo escogido, a partir de la adición de diferentes dosificaciones y tiempos de curado. Cada porcentaje de polímero agregado al suelo debe generar un comportamiento distinto en las propiedades del suelo. Por lo tanto, la hipótesis es la siguiente:

“La aplicación del polímero de estireno acrílico (PEA) en dosificaciones de 2, 4, 6, 8 y 10 l/m³ según el tiempo de curado de 0, 7 y 28 días mejoran las características físico-mecánicas del suelo en comparación a su estado natural.”

1.4. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es:

- Evaluar la influencia de la aplicación de un polímero de estireno acrílico en distintas dosificaciones y tiempos de curado sobre las propiedades físicas y mecánicas de un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Examinar las características físicas del suelo en estado natural y del suelo tratado con dosificaciones de 2, 4, 6, 8 y 10 l/m³ del polímero de estireno acrílico.
- Analizar los resultados de los ensayos de Proctor modificado y CBR del suelo en estado natural y del suelo tratado con dosificaciones de 2, 4, 6, 8 y 10 l/m³ del polímero de estireno acrílico con tiempos de curado de 0, 7 y 28 días.
- Identificar la dosificación óptima de polímero de estireno acrílico con el que el suelo alcanza el mayor valor CBR.
- Discutir los resultados de los ensayos de laboratorio respecto a investigaciones sobre estabilización de suelos con agentes estabilizadores.

1.5. Alcances y Limitaciones

Los resultados del presente trabajo son válidos solamente para el tipo de suelo especificado en la tesis y para el tipo de estabilizador utilizado. Las muestras de suelo fueron obtenidas de un terreno colindante, el cual presenta similar estratigrafía de suelos que la vía no pavimentada en estudio. La excavación de calicatas se limitó a no más de 2 metros de profundidad debido a la presencia de bolones y fragmentos de roca.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pavimentos

2.1.1. Definición

El pavimento consiste en múltiples capas dispuestas sobre la subrasante de una vía, diseñadas para soportar y distribuir las cargas generadas por los vehículos, con el objetivo de mejorar la seguridad y el confort durante el tránsito (MTC, 2014). Las capas encontradas en las diferentes estructuras de pavimentos deben de cumplir especificaciones, según las Tablas 2.1, 2.2 y 2.3, y usualmente son las siguientes:

- **Capa de rodadura:** es el elemento que se encuentra en la parte superior de la estructura del pavimento, el cual puede ser de material flexible (asfalto) o de material rígido (concreto de cemento portland) o de adoquines. Su principal función es soportar las cargas directas del tránsito.
- **Base:** es la capa que se encuentra en la parte inferior, la cual soporta, distribuye y trasmite las cargas provocadas por el tránsito. Esta capa estará compuesta de un material granular drenante ($\text{CBR} > 80\%$) o será tratada con un estabilizador o material externo para cumplir con los requisitos demandados.
- **Subbase:** es la capa que soporta la superficie de rodadura y la base, la cual consta de material especificado y con un espesor de diseño. Además, esta capa se emplea como drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo de la estructuración y diseño del pavimento, esta capa puede omitirse. Esta puede ser de material granular ($\text{CBR} > 40\%$) o tratada con un estabilizador o material externo para cumplir con los requisitos demandados.
- **Subrasante:** superficie natural de suelo seleccionado de las excavaciones del terreno para soportar la estructura del pavimento en construcción. Esto quiere decir que va por debajo de la subbase, base o afirmado, dependiendo del

sistema empleado. Por otro lado, para que la subrasante sea adecuada y estable el suelo por debajo de esta capa, considerando una profundidad mínima de 0.60m, debe cumplir con un CBR mayor o igual al 6%. De lo contrario, deberá ser tratada con diferentes métodos de estabilización.

Tabla 2.1:
Categorías de Sub rasante (MTC, 2014).

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

Tabla 2.2:
Valor Relativo de Soporte, CBR en Subbase Granular (*) (MTC E132, NTP 339.145 1999) (MTC, 2014).

CBR en Subbase Granular	Mínimo 40%
-------------------------	------------

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1” (2.5mm).

Tabla 2.3:
Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular (*) (MTC E132, NTP 339.145 1999) (MTC, 2014).

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes ≤ 10 x 10 ⁶	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes > 10 x 10 ⁶	Mínimo 100%

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1” (2.5 mm).

Se muestra la Figura 2.1 para una percepción más gráfica de la composición de las diferentes capas de un pavimento.



Figura 2.1: Componentes básicos de un sistema típico de pavimento, adaptado del trabajo de Federal Highway Administration (FHWA) (FHWA, 2017).

2.1.2. Tipos de pavimentos

Según la FHWA (2017), los pavimentos se clasifican comúnmente, según su sistema estructural, como rígidos, flexibles, compuestos y no pavimentados. Sin embargo, también se clasifican según otros criterios como el tipo de construcción o el tipo de capa de rodadura.

2.1.2.1. Rígido

Los pavimentos rígidos comprenden losas de concreto como capa de rodadura, construidas sobre una capa de base granular sobre el suelo de la subrasante. En este sistema estructural la capa base aumenta la rigidez efectiva de la cimentación de la losa, además evita el bombeo de suelo de granos finos en juntas, grietas y bordes de la losa. Ocasionalmente, se incluye una capa de subbase entre la capa base y la subrasante, como se muestra en la Figura 2.2. En situaciones en las que las subrasantes sean gruesas y de alta calidad, o los volúmenes de tráfico sean bajos, se pueden omitir las capas base y subbase para el diseño de este tipo de estructura.



Figura 2.2: Componentes básicos de un sistema típico de pavimento, adaptado del trabajo de FHWA (FHWA, 2017).

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en cuatro subgrupos, pavimentos de concreto con juntas simples (JPCP), con juntas reforzadas (JRCP), continuamente reforzadas (CRCP) y de concreto pretensado (PCP) (FHWA, 2017).

2.1.2.2. Flexible

Los pavimentos flexibles comprenden una capa asfáltica en la superficie que se asienta sobre las capas granulares de base y subbase. En algunos casos, la estructura puede variar, como por ejemplo en los casos de pavimentos asfálticos de profundidad completa, en la cual se omite la capa de base y subbase como se muestra en la Figura 2.3. Esto se emplea como prioridad en diseños proyectados para soportar cargas de tránsito altas. Por otro lado, las capas de base y/o subbase, en caso no cumplan con las especificaciones mínimas para cumplir esta función, pueden estabilizarse utilizando aditivos cementicios, bituminosos, entre otros. Adicional a estas variaciones, se puede proporcionar capas, adicionales, de drenaje para eliminar el agua rápidamente de su estructura.



Figura 2.3: Algunas variaciones comunes del sistema de pavimento flexible, adaptado del trabajo de FHWA (FHWA, 2017).

Durante el proceso de construcción de un pavimento flexible es fundamental la compactación solicitada de la capa asfáltica para un rendimiento satisfactorio, debido a que lo contrario puede provocar la formación excesiva de surcos durante el tráfico de vehículos. De igual manera, se produce el agrietamiento por la exposición al aire y al agua, lo cual lleva a la falla de las capas subyacentes debido a la infiltración excesiva de agua superficial. Asimismo, las capas de material granular bajo el asfalto deben acondicionarse correctamente para lograr el propósito del camino (FHWA, 2017).

2.1.2.3. No pavimentado

Las carreteras no pavimentadas son caminos que tienen como superficie de rodadura capas granulares y/o subrasante, las cuales soportan las cargas de tránsito. A veces se aplican capas de sellado para mejorar su resistencia a los factores ambientales (FHWA, 2017).

De acuerdo con el MTC (2014), estas son descritas como carreteras con volumen de bajo tránsito, las cuales comprenden de una capa de superficie de rodadura con materiales granulares. Estas vías no pavimentadas se clasifican en afirmadas, sin afirmar y trochas.

Las carreteras afirmadas son distinguidas porque poseen una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados natural o mecánicamente (zarandeo), combinando piedra, arena y finos o arcilla, con un tamaño máximo de 25mm. Pueden ser afirmadas con gravas naturales o zarandeadas, o mediante chancado para homogeneizarlas.

Por otro lado, las carreteras sin afirmar poseen una intervención de movimiento de tierras adecuado y/o una capa de rodadura como las carreteras afirmadas.

Por último, las trochas carrozables, a diferencia de los caminos sin afirmar, no poseen una intervención adecuada del movimiento de tierra y el diseño geométrico no cumple con los requisitos demandado (MTC, 2018).

La metodología de diseño presentada en el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito del MTC (2008) se centra en calcular el espesor de la capa de afirmado, considerando la resistencia de la subrasante y el tránsito esperado durante el período de diseño. Esta metodología se basa en características específicas como el CBR (índice de soporte California Bearing Ratio) de la subrasante y el número de repeticiones de ejes equivalentes. Se establece que los espesores de afirmado deben cumplir con los requerimientos del proyecto y ser aprobados por la entidad competente.

Es importante mencionar que las subrasantes con un CBR menor al 6% requieren un estudio adicional para su estabilización o reemplazo.

2.2. Estabilización de suelos

El desarrollo de esta tesis se centra en la estabilización de suelos enfocados a la rama de caminos y pavimentos, ya que para propósitos de construcción las propiedades a evaluar son diferentes, tales como capacidad portante, asentamientos, entre otros.

Según Rivera et al. (2020), la estabilización de un suelo es un procedimiento en el cual se mejora las propiedades físicas, químicas y mecánicas en relación con su estado natural. En este proceso se puede modificar el incremento de resistencia, el control de la expansión, la reducción de plasticidad, la disminución de la permeabilidad, la prevención de erosión, entre otras propiedades.

De acuerdo con una investigación realizada por el Ministerio de Economía y Finanzas (2015), la estabilización puede ser granulométrica o mecánica, también se realiza mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. La granulométrica o mecánica consiste en mezclar el suelo natural con uno o más suelos externos de características requeridas para aumentar y agregar los valores que se desean mejorar como la densidad, humedad, entre otros. La química se basa en la aplicación de un estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo con especificaciones técnicas propias del producto (MTC, 2004).

2.2.1. Estabilización mecánica

La estabilización mecánica consiste en mejorar el suelo mediante la compactación y/o el agregado de un suelo externo. Esto en caso de que el suelo natural lo necesite para incrementar su densidad, permeabilidad, capacidad portante y otras características requeridas por el proyecto (Rivera et al., 2020). Las proporciones de la mezcla para lograr la estabilización se determina en el laboratorio durante las pruebas de diseño. Para un rendimiento eficaz en campo se requiere una correcta compactación, la cual desarrolla suficiente resistencia y durabilidad para cumplir o superar los criterios planteados. El procedimiento comprende en mezclar los materiales (suelo natural, agua y suelo externo, en caso sea necesario) in situ en la obra o se combinan mecánicamente en una planta mezcladora para posteriormente ser transportados. Esta mezcla de suelo se distribuye uniformemente en capas sueltas sobre una subrasante o subbase preparada utilizando una excavadora, una caja

esparcidora o una pavimentadora. Una vez distribuido, se compacta mediante rodillos o equipos de compactación convencionales (FHA, 2016).

2.2.2. Estabilización química

La transformación de las propiedades índices al añadir químicos como cemento, ceniza volcánica, cal, o una combinación de estos y componentes de cloruro, usualmente alteran las propiedades físicas y químicas del suelo incluyendo la cementación de las partículas del suelo. En la estabilización química hay dos principales mecanismos por el cual los químicos alteran el suelo y lo convierten a una subrasante estable. La primera es el incremento del tamaño de las partículas por cementación y la fricción interna entre los aglomerados, el cual mejora la resistencia al corte, reduce el índice de plasticidad, el potencial de contracción e hinchamiento. El segundo mecanismo es la absorción de la humedad y la unión química, las cuales facilita la compactación.

Los químicos estabilizadores son comúnmente usados como aditivos y mejoran las propiedades físicas del suelo. Estos procesos de estabilización involucran el mezclado del suelo con el aditivo escogido (primero para cambiar las propiedades de este, como el incremento de tamaño de partícula mencionado anteriormente) y luego compactar la mezcla correctamente. Estos métodos de estabilización son aplicables solo para suelos en cimientos poco profundos, o para el camino base de carreteras, pavimentos de aeródromos, entre otros (Onyelowe, 2012).

2.2.2.1. Tipos de estabilizadores químicos

Según Tingle et al. (2007) los estabilizadores se pueden clasificar en dos grupos, tradicionales y no tradicionales. Los no tradicionales se dividen en siete categorías: estabilizadores iónicos, enzimas, lignosulfonatos, sales y productos higroscópicos, resinas de petróleo, polímeros y resinas vegetales (la descripción se encuentra en la Tabla 2.4). El primer grupo refiere a productos conocidos (cemento, cal y derivados asfálticos), los cuales

han sido investigados y se cuenta con registros de su aplicación. En el caso del segundo grupo, son productos orgánicos o químicos, los cuales al entrar en interacción con el suelo o agregado sigue siendo materia de investigación ya que su función varía según la categoría en la que se encuentre (Ulate, 2017).

Tabla 2.4:
Resumen sobre categorías de estabilizadores no tradicionales
Adaptado de Ulate (2017)

Categoría	Descripción
Estabilizadores iónicos	<p>Productos ácidos o alcalinos concentrados, que se aplican en bajas dosificaciones a suelos de grano fino (arcillas o limos arcillosos) y no tanto con gravas y arenas.</p> <p>Las partículas de suelos atraen iones positivos (cationes) para balancear y neutralizar su carga eléctrica negativa neta, como indica (Vargas, 2002).</p> <p>Producen intercambio de cationes que reducen la carga superficial de las partículas de suelo, lo cual genera la pérdida de la doble capa de agua que rodea los minerales arcillosos (montmorillonita y caolinita), permitiendo una mayor densificación del suelo y hasta floculación de los minerales arcillosos</p>
Enzimas	<p>Estabilizadores orgánicos que se utilizan generalmente en bajas dosificaciones y catalizan reacciones químicas específicas dependiendo del tipo de suelo.</p> <p>Requieren de un medio de movilidad que generalmente es el agua libre (la que ocupa los poros), un medio de reacción (que lo da la química del suelo) y tiempo para que se extienda la reacción.</p> <p>Su efecto se mantiene en el suelo hasta que no exista alguno de estos elementos para que se catalice la reacción.</p> <p>Funcionan mejor en suelos arcillosos de alta plasticidad y no tanto en suelos limosos, arenas o gravas.</p>
Lignosulfonatos	<p>La lignina es una sustancia que aparece en los tejidos leñosos de vegetales que une las fibras de celulosa.</p> <p>Cubren las partículas del suelo con una capa adhesiva que las une, por lo tanto, su efecto principal es cementante y no tanto químico.</p> <p>Aunque algunos productos tienen efecto iónico y suelen ser solubles en agua, podrían infiltrarse en el suelo.</p> <p>Especificaciones generales para el uso de sulfatos de lignina para control de polvo están incluidas en la Sección 306 del CR-2010.</p>

Categoría	Descripción
Sales y productos higroscópicos	<p>Utilizados como reductores de polvo y no tanto como estabilizadores.</p> <p>Funcionan por atracción de humedad del ambiente para evitar que el suelo se seque.</p> <p>El cloruro de calcio (CaCl_2) y cloruro de magnesio (MgCl_2) son los más conocidos.</p> <p>Generan intercambio de cationes entre el suelo y la sal, lo que permite formar cristales de sal en los poros y uniones entre las partículas y aumentar la densidad del material.</p> <p>(Bolander & Yamada, 1999) indican que el cloruro de magnesio suele funcionar mejor en condiciones húmedas, pero es corrosivo y puede infiltrarse.</p>
Resinas de petróleo	<p>Se utilizan tanto como supresores de polvo o estabilizadores.</p> <p>Son emulsiones asfálticas o líquidos sintéticos (generalmente usados en perforaciones).</p> <p>Las emulsiones asfálticas catiónicas, de rompimiento medio o lento, son generalmente utilizadas para estabilizar materiales granulares.</p> <p>Su funcionamiento se basa en la adhesión de las partículas del suelo y formación de una película impermeabilizadora, lo cual depende de un buen recubrimiento de las partículas, que se reduce severamente en materiales finos o suelos, por su alta superficie específica.</p> <p>Los líquidos sintéticos (isoalcanos) se utilizan como aditivos para compactación o perforaciones, dispersan las partículas de suelo, no se secan o curan y son insolubles en agua, lo cual permite reducir la susceptibilidad del suelo a humedad. Sin embargo, no generan adhesión entre las partículas del suelo.</p>
Resinas vegetales	<p>Son productos de la industria de madera y papel. Se utilizan junto a agentes emulsificantes para facilitar su aplicación.</p> <p>Su efecto adhesivo es menor que el de los polímeros, pero también funciona mejor en materiales granulares que en suelos finos.</p> <p>Son menos solubles en agua que los lignosulfonatos, por lo que pueden generar menos infiltración, pero su efectividad puede ser variable.</p>
Polímeros	<p>Son acetatos de vinilo o copolímeros acrílicos suspendidos en emulsiones o tensoactivos que crean una fuerte adhesión entre las partículas.</p> <p>Funcionan como supresores de polvo y estabilizadores, principalmente en agregados ya que en suelos la alta superficie específica, hace más complicado obtener una mezcla uniforme.</p> <p>Los polímeros son resistentes al agua por lo que permiten impermeabilizar las capas estabilizadas.</p>

2.2.2.2. Estabilización con polímeros

Los polímeros son sustancias compuestas de largas cadenas moleculares, las cuales se

mantienen unidas por enlaces covalentes. Estos pueden ser encontrados de manera natural y sintética, se clasifican funcionalmente según el tipo de estabilización como polímeros catiónicos, no iónicos y aniónicos. En general proporcionan una unión física entre las partículas del suelo en lugar de introducir una reacción química para estabilizar (Georges et al., 2015). Según la Tabla 2.4, estos polímeros son los acetatos de vinil o copolímeros acrílicos suspendidos en emulsiones o tensoactivos. Estos contienen entre el 40 y 50% de partículas sólidas en relación al peso de los tensoactivos.

Según Pérez et al. (2021), los copolímeros acrílicos se disgregan en una mezcla polimérica por surfactantes. Debido a esto, el polímero se cura mediante la evaporación del agua, y el restante se une para generar una delgada capa continua de polímero alrededor del agregado. Estas ligas generan mayor resistencia entre las partículas del suelo. A causa de que la principal función del polímero es formar ligas físicas, el incremento de la resistencia se basa de la capacidad de este para recubrir las partículas. Por esta razón, los polímeros poseen menor efectividad en suelos finos por la alta superficie específica.

De manera similar lo describe Tingle et al. (2007), afirmando que los polímeros estabilizadores usualmente son acetatos de vinilo o copolímeros acrílicos suspendidos en una emulsión mediante surfactantes. Este envuelve en las partículas del suelo y se generan enlaces físicos cuando se evapora el agua de la mezcla, aislando una matriz suelo-polímero. De la misma manera que con las mezclas asfálticas, el agente emulsionante puede actuar, también, como un surfactante, incrementando la penetración para utilizaciones tópicas y el recubrimiento de partículas para condiciones de mezcla. A causa de que el enlace físico sea el mecanismo principal de estabilización, el aumento en la resistencia necesita de una adecuada capacidad para recubrir las partículas del suelo y de las propiedades físicas del polímero. Es por ello que para materiales granulares es adecuado emplear la estabilización con emulsiones de polímero, sin embargo, en suelos de grano fino es menos efectiva debido a la eficiencia reducida de la emulsión final de su elevada superficie específica. Los

polímeros comúnmente empleados en la estabilización de suelos poseen una buena resistencia a la tracción y flexión, generando enlaces físicos de gran resistencia. De igual forma que el cemento asfáltico, los polímeros son impermeables, entregando una superior resistencia al agua de las partículas recubiertas y disminuyendo la susceptibilidad a la humedad.

2.3. Polímeros

El origen de esta palabra viene de poli, que significa muchos, y meros, que significa parte. La principal sustancia que conforma al polímero tiene el nombre de monómero. Las moléculas compuestas que poseen por lo menos dos unidades monoméricas distintas se les conoce como copolímeros. La cantidad de unidades monoméricas que contiene el polímero toma el nombre de grado de polimerización. Las unidades que se repiten se denominan mero o unidad monomérica, las cuales pueden estar presentes en la molécula de un polímero final. Las sustancias macromoleculares son aquellas sustancias naturales, artificiales o sintéticas que poseen un peso molecular mayor a 10.000 g/mol. Los altos polímeros son constituidos por productos macromoleculares orgánicos, los cuales moléculas que repiten con uniformidad determinados principios estructurales genéricos. Estos altos polímeros pueden ser naturales, artificiales o semisintéticos y sintéticos. Los altos polímeros artificiales mantienen en gran medida su naturaleza macromolecular, a pesar de que son obtenidos por transformación química de los altos polímeros naturales. Por medio estrictamente sintético a base de sustancias de bajo peso molecular son obtenidos los altos polímeros sintéticos, como lo son el nylon, poliestireno, estireno, entre otros. Los altos polímeros sintéticos y semisintéticos son conocidos comúnmente con el nombre de plásticos; a pesar de que no todos de estos exhiben la característica de la plasticidad (López et al., 2010).

2.3.1. Clasificación de polímeros

Los polímeros pueden clasificarse de diversos modos. Según Ávila (2017), estos se

representan como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5:
Clasificación de polímeros, adaptado de Ávila (2017).

Clasificación de polímeros	
Categoría	Descripción
Tipo de monómero	Como el nombre lo dice, esta categoría se define según la variedad de monómeros que presenta la composición del polímero. Estos pueden ser: Homopolímero: compuesto por un tipo. Herepolímero (copolímero): contiene más de un tipo.
Morfología	Según la estructura de la cadena que poseen, lineales y ramificados.
Origen	Se clasifican según su procedencia: natural, sintético (producida en laboratorio), semisintético (modificando un monómero natural), inorgánico e híbrido (mezcla del orgánico e inorgánico).
Comportamiento frente al calor	Son divididos en termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los termoplásticos pueden ser moldeados al elevar su temperatura, mientras que al estar en temperatura ambiente se mantienen rígidos, estos se dividen en amorfos y semi cristalinos. Por otro lado, los termoestables se consumen al incrementar la temperatura por lo que se vuelve no reutilizable. Finalmente, los elastómeros son elásticos y gomosos por lo que pueden ser sometidos a una gran cantidad de ciclos de extensión y contracción sin perder su forma original y sin la necesidad de aumentar su temperatura.
Uso	Según la presentación en la que se usa. Estas son como plásticos, fibras, recubrimientos, adhesivos y rellenos.
Síntesis	Por sus reacciones de polimerización se pueden dividir en dos grandes grupos, adición y condensación. En el primero, en esta polimerización todos los átomos del monómero se integran con el polímero. En el segundo, no se convierten en parte del polímero, sino que son liberados como H ₂ O, CO ₂ , entre otros.

2.3.2. Aplicaciones y usos

Los polímeros son encontrados, en gran medida, en el uso cotidiano de las personas como en las industrias, una aplicación destacada es la fabricación de neumáticos, revolucionando el transporte de manera significativa. Entre la amplia gama de estos, está el

poliuretano, el cual tiene una amplia variedad de aplicaciones, las cuales van desde simples esponjas de limpieza hasta materiales para grandes proyectos de ingeniería, siendo empleados por equipamiento deportivo y aislantes térmicos para viviendas. Esta resaltante versatilidad se debe a su estructura química variada y a su capacidad de entrecruzamiento.

Continuando con los usos de los polímeros, una de sus aplicaciones más destacada es la de absorber agua o pegar materiales. Antiguamente los pañales para niños se hacían de celulosa, lo cual tenía un impacto ambiental considerable, pero ahora se utilizan materiales sintéticos como el poli (alcoholvinílico). Incluso al usar pegamentos comerciales, se aplica de igual manera la química, ya que el proceso de adhesión se basa en una reacción in situ, específicamente la polimerización del cianoacrilato de metilo (o etilo). Así como las aplicaciones descritas también se pueden emplear los polímeros como revestimientos, materiales estructurales, materiales para ingeniería, envasado, ropa, electrolitos (baterías), supercondensadores eléctricos, conductores, entre otros (De Lourdes, 2016).

2.4. Polímero de estireno acrílico

2.4.1. Descripción

Respecto a su composición química, el polímero de estireno acrílico es la polimerización de una mezcla monomérica que comprende uno o más monómeros acrílicos con uno o más monómeros de estireno. A su vez, se deriva de la mezcla monomérica que incluye como mínimo dos monómeros de (met)acrilato de alquilo, en singular metacrilato de butilo, especialmente metacrilato de isobutilo y acrilato de 2-etilhexilo (Darcy et al., 2012). Según Abd (2023), define que es un copolímero de estireno-acrílico que posee enlaces covalentes de cadenas poliméricas lineales entrecruzadas, desarrollando una estructura en forma de red. A pesar de que el material no se funde a altas temperaturas, el polímetro entrelazado se tersará a 350 °C. Además, este se carboniza o arde en presencia de oxígeno.

Por otro lado, este polímero también se puede encontrar bajo el nombre de Aggrebind,

el cual es un producto patentado que funciona como estabilizador químico multipropósito.

Sobre la estabilización de suelos, se utiliza como material primario todos los materiales del sitio, incluyendo arenas, desechos de minería o construcción para proveer caminos estables y libres de polvo o bases para carreteras principales.

Además, acerca del control de polvo en áreas rurales, empresas mineras y comunidades agrícolas contribuyen con esta labor. Se mejora considerablemente la salud de los pobladores y sus familias, incrementa las cosechas y provee mejores y caminos más seguros, teniendo como resultado el desarrollo dentro de las comunidades (Aggrebind, 2020).

2.4.2. Propiedades físicas y químicas

Además de cumplir con los requerimientos de los estándares AASHTO en suelos estabilizantes, se caracteriza por sus propiedades físicas y químicas, que, si bien varían de acuerdo con su composición, se definen dentro de un rango parcial. En base a la metodología utilizada, su página web AggreBind (<https://aggrebind.com/es/>) describe las principales propiedades del producto para tener en cuenta al momento de su aplicación.

Puede resistir al menos cinco pruebas de congelamiento (y descongelamiento) y mantener sus propiedades químicas, mientras se encuentre en estado líquido no diluido. Tiene un rango de tolerancia de temperatura entre -57°C a $+163^{\circ}\text{C}$ (-70°F a $+325^{\circ}\text{F}$), mientras está siendo curado. Además, trabaja en suelos tanto de Ph altos y bajos, compatible a la vez con el medio ambiente.

El estabilizador alcanza resistencias a la compresión no confinada que se aproximan al concreto de bajo grado (123.07 kg/cm^2), en suelo arenoso limoso, así como en suelos de base arcillosa de bajo porcentaje ($<15\%$). Aumenta la capacidad de soporte de carga en subsuelos en sitio. Es posible incrementar la capacidad de soporte de carga de 4 a 6 veces de acuerdo con las mediciones realizadas por CBR.

El agente estabilizador repele el agua durante y después del curado. En caso de

precipitaciones, resiste el escurrimiento de agua en el proceso de construcción. Además, la apertura del tránsito será posible luego de 2 horas de terminado el proceso para carreteras, y luego de 1 hora para el control de polvo. Dependiendo de la profundidad, resiste cargas completas de neumáticos de avionetas, helicópteros y equipos pesados luego del tiempo recomendado de post-instalación (se recomienda por lo menos 30 cm de requisitos de soporte de carga pesada).

En la Tabla 2.6 se detalla las especificaciones técnicas del polímero de estireno acrílico, un material ampliamente utilizado en aplicaciones de construcción y mantenimiento de suelos. Incluye requisitos cumplidos según normas AASHTO, tolerancias de temperatura, pH del suelo y salinidad aceptable, así como características de impermeabilidad, volatilidad e inflamabilidad. Además, se especifica la maquinaria necesaria, el incremento de CBR (California Bearing Ratio), y la durabilidad del material bajo exposición a rayos UV. Esta información es crucial para garantizar el rendimiento y la seguridad en proyectos de ingeniería civil.

Tabla 2.6:
Especificaciones técnicas del polímero de estireno acrílico (Fuente: Aggrebind).

Especificaciones técnicas del polímero de estireno acrílico	
Requerimientos cumplidos	AASHTO
Estado	Líquido no diluido
Tolerancia de temperatura	-57°C a 163°C
Ph del suelo	Altos y bajos
%Salinidad aceptable de agua para la mezcla	4%
Tipo de suelo	Todo tipo de suelo
Impermeabilidad	Cuando la base contenga 35% de finos que pasen por la malla #200
Volatilidad	No es volátil
Inflamabilidad	No es inflamable
Maquinaria y mano de obra especializada	No es necesaria
Incremento de CBR	Hasta un 600%
Tiempo para abertura de tráfico luego de la aplicación	1-3 horas
Duración sin exposición a rayos UV	Aproximadamente 25 años
Duración por exposición a rayos UV	Aproximadamente 12 años

2.4.3. Aplicación como estabilizador de suelos

Según Abd (2023), aplicar la concentración adecuada del polímero crea un sólido hidrofóbico, otorgando capacidad de carga a bases o subbases. Es así que el polímero de estireno acrílico encapsula cada partícula de suelo, juntándolas en una extensa partícula, y eventualmente genera una masa de material sólido y denso. Este proceso transforma el suelo inicial de hidrófilo a hidrófobo. En particulares ocasiones, ofrece una carretera autosellada eficazmente. En zonas de tránsito altamente concurrido, se trata el suelo natural para que trabaje como base para la pavimentación, tal como lo muestra la Figura 2.4.



Figura 2.4: Carretera convencionalmente construida versus carretera estabilizada con AggreBind RM1 (Abd, 2023).

Diluir adecuadamente el polímero, mezclarlo con el material de base y compactarlo firmemente, da inicio inmediato al proceso de estabilización polimérica. De esta manera, el agua agregada se evapora con el pasar de los días, por lo que la resistencia del suelo base se incrementa gradualmente y el índice de soporte de California alcanza de cuatro a seis veces el CBR de una mezcla de convencional (agua-suelo). En suelos que están constituidos por arcillas activas, disminuye la expansión y contracción, debido a que evita el paso de agua. El incremento del CBR de un relleno selecto se puede observar a través de la Figura 2.5. De este modo, se aprecia que el CBR presenta un gran aumento de CBR a los 7 y 28 días de curado (secado al aire) a comparación de la muestra de control, los cuales presentan los porcentajes de 35, 83 y 157 en el orden del día de ensayo.

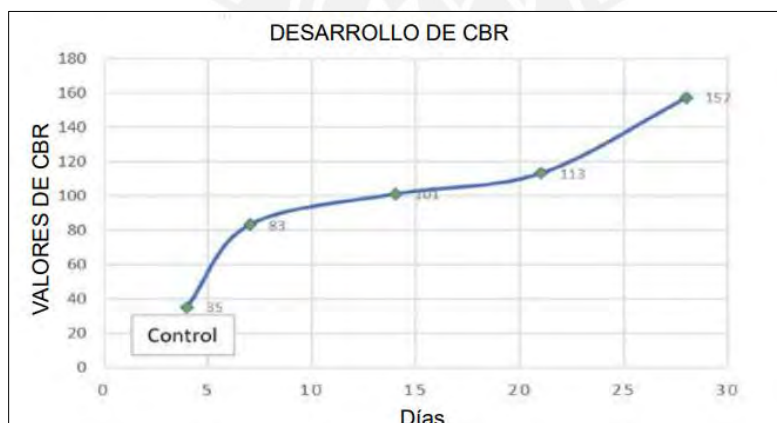


Figura 2.5: Desarrollo del CBR en el tiempo (Abd, 2023).

Este proceso por el cual se unen las partículas de suelo, el cual se puede observar en las Figura 2.6 y Figura 2.7 , es definido, por la empresa Aggrebind (2020), como la acción

molecular de la reticulación (AggreBinding según su distribuidor), la cual se genera cuando entran en contacto directo las partículas recubiertas por la mezcla de agua y polímero. Es así que el material reticulado, por medio de la compactación, se solidifica completamente para producir una estructura compacta y altamente resistente. El producto final resultado es resistente al agua, con mayor resistencia a la tracción flexible y extremas temperaturas de frío y calor, desde $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $163\text{ }^{\circ}\text{C}$.

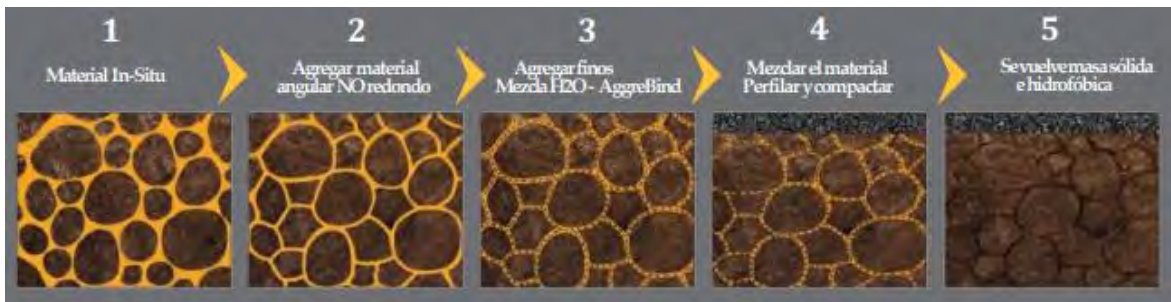


Figura 2.6: Proceso de AggreBinding en un suelo (Aggrebind, 2020).



Figura 2.7: Proceso de reticulación de las partículas de un suelo (Aggrebind, 2020).

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Con la finalidad de respaldar el empleo de un agente externo como un medio de estabilización, se ha tenido en consideración tomar referencia de estudios académicos que ahonden la participación de alguno o más agentes estabilizantes, individual y conjuntamente. De acuerdo con cada estudio, dichos agentes estabilizantes llegan a tener naturalezas variadas, como se pudo explicar en un capítulo previo.

En el presente capítulo se explican investigaciones (artículos científicos y trabajos de tesis) que revelan el impacto e influencia de estabilizadores sobre los suelos. Esta variedad de estudios con diversos agentes estabilizantes, cada uno con diferentes características, nos permite tener un mayor alcance de la presente investigación.

3.1. Artículos científicos

El artículo de Alzaidy (2019) se centra en desarrollar los efectos de la estabilización de suelo arcilloso mediante el agregado de ESP (polvo de cáscara de huevo) y PWS (residuos plásticos). Alzaidy analiza las propiedades del suelo estabilizado luego de ensayar muestras agregando mezclas de proporciones diferentes de ambos materiales. Luego de realizar el estudio experimental, el autor concluye:

Se nota un cambio positivo en las características de ingeniería del suelo arcilloso después de agregar tanto ESP como PWS. Estos cambios beneficiosos dependen del contenido de ESP, PWS y la duración del curado. La duración del curado mejora las características de ingeniería de las muestras de suelo. Los parámetros de resistencia a la compresión no confinada del suelo arcilloso aumentan a mayor tiempo de duración del curado.

De acuerdo con la Tabla 3.1 y la Figura 3.1, un aumento en el contenido de ESP provoca un aumento en la resistencia a la compresión no confinada y el CBR del suelo. La proporción óptima para mejorar la resistencia es del suelo es de 5% de ESP y 1% de PWS

del peso seco del suelo. Por otro lado, el potencial de hinchamiento se había reducido con un aumento del contenido de ESP.

Tabla 3.1:
Resultados de la resistencia a la compresión no confinada y potencial de hinchamiento (Alzaidy, 2019).

N°	Contenido ESP (%)	Contenido PWS (%)	Resistencia a la compresión no confinada (kPa)			Potencial de hinchamiento (%)
			7 días	14 días	28 días	
1	2	0.25	105	141	211	0.77
2	5	0.25	141	202	549	0.59
3	8	0.25	116	151	422	0.53
4	2	0.50	135	167	226	0.75
5	5	0.50	172	223	578	0.56
6	8	0.50	141	179	443	0.49
7	2	1.00	157	205	254	0.61
8	5	1.00	197	292	591	0.49
9	8	1.00	181	236	472	0.46
10	0	0.00	80	---	---	8.10

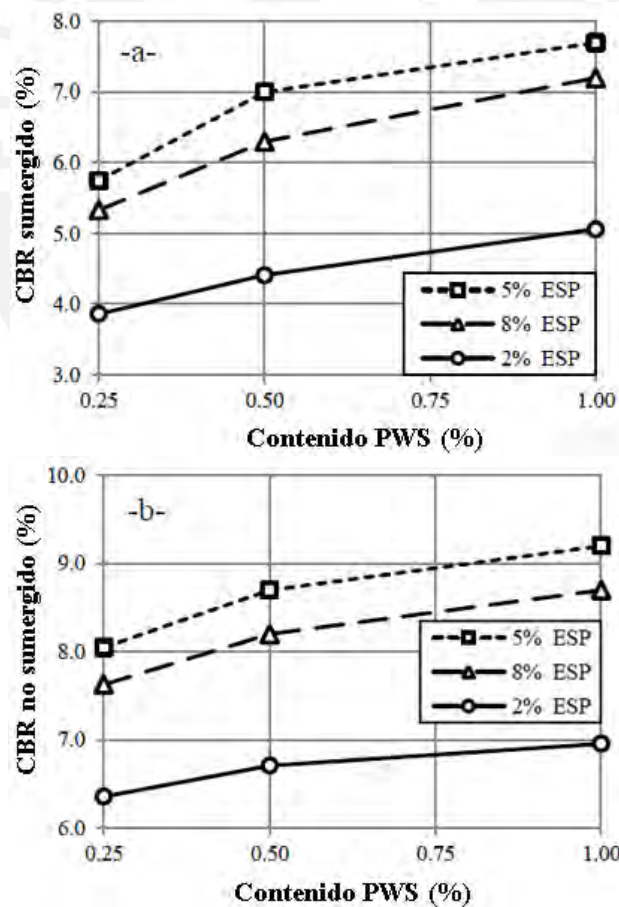


Figura 3.1: Valores de CBR de muestras estabilizadas con ESP-PWS, a- sumergido, b- no sumergido (Alzaidy, 2019).

Un aumento en el contenido de PWS provoca un aumento en las características de resistencia mencionadas anteriormente y disminuye el potencial de hinchamiento del suelo

arcilloso utilizado en este estudio. La contribución de ESP y PWS en la estabilización de suelos arcillosos mejora las características de resistencia y potencial de hinchamiento que la estabilización del suelo solo con ESP.

El estudio de Radhia & Ahmed (2019) trata sobre la estabilización de un suelo arenoso ubicado en la ciudad de Basrah, Irak, cuyas muestras de suelo fueron tratadas con los siguientes polímeros: urea formaldehído reincorporado (UFR) y caucho de estireno butadieno (SBR). El primero se genera por medio de una reacción de dos etapas; en la primera involucra la urea y el formaldehído en una reacción en condiciones naturales o ligeramente alcalinas, en la segunda etapa es sometido en condiciones ácidas a altas temperaturas para obtener finalmente el polímero en mención. El SBR se forma mediante la polimerización por radicales libres de dos monómeros, estireno y butadieno, añadida a la presencia del caucho para generar la reacción y conseguir el producto final.

En esta investigación se determinó el efecto que genera cada polímero en diferentes dosificaciones (1, 2 y 3%), con relación al peso del suelo seco, para los parámetros de humedad óptima, máxima densidad seca y valor de soporte de California (CBR). Los resultados que derivaron de la investigación son los siguientes:

De acuerdo con lo indicado en la Tabla 3.2, en ambos casos, la adición de los polímeros disminuye el contenido óptimo de humedad. De la misma manera, la densidad máxima seca disminuye con la aplicación de ambos polímeros. La excepción se encuentra en la dosificación al 1% del polímero UFR, en la que se aprecia un incremento de 1.87 g/cm^3 a 1.93 g/cm^3 . Mientras que al aplicar el polímero SBR en los suelos, siempre se produce una disminución de la máxima densidad seca.

Tabla 3.2:
Resultado de ensayo compactación de modificada, adaptado del trabajo de Radhia & Ahmed (*Radhia & Ahmed, 2019*).

	Contenido de polímero (%)	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (g/cm ³)
Suelo con polímero UFR	0	11.7	1.87
	1	9.5	1.93
	2	10	1.83
Suelo con polímero SBR	0	11.7	1.87
	1	10	1.85
	2	9.5	1.81
	3	9.5	1.81

Por otro lado, tanto el polímero UFR como el polímero SBR incrementan el valor de CBR al aplicar la dosificación óptima. Los mejores resultados pueden apreciarse en el caso del tratamiento con polímero UFR, ya que este incrementa el valor del CBR respecto a su estado natural en un 64.08% y 106.94%, al aplicar una dosificación de 1 y 2% del polímero. Mientras que, en el caso del tratamiento con polímero SBR, únicamente se obtiene una mejora del 17.43% al aplicar la dosificación del 3% del polímero. Dichos resultados pueden apreciarse en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3:
Resultado de ensayo CBR, adaptado del trabajo de Ahmed & Radhia (*Ahmed & Radhia, 2019*).

	Contenido de polímero (%)	CBR (%)
Suelo con polímero UFR	0	12.25
	1	20.1
	2	25.35
Suelo con polímero SBR	1	6.59
	2	11.694
	3	14.385

Rajoria & Kaur (2015) exponen en su artículo los efectos que derivan de la aplicación de un polímero estabilizador en conjunto con cemento sobre las propiedades geotécnicas de suelo tipo “algodón negro”. Cabe mencionar que este suelo, como su nombre lo indica, se caracteriza por su color negro, alto porcentaje de arcillas y un muy alto comportamiento de hinchamiento. El polímero tiene como nombre Renolith, cuya composición principal consta

de una cadena de hidrocarburos que se conectan entre sí, los cuales actúan como aglutinante para el suelo.

La adición de ambos estabilizadores incrementó las características de resistencia, como lo son los parámetros de CBR y resistencia a la compresión no confinada. En general, se puede apreciar que, al aumentar la dosificación de los agentes, el valor de las características ya mencionadas también crece. Cabe mencionar que tanto el Renolith como el cemento no tienen el efecto de depreciarse el uno al otro, ya que puede apreciarse el caso opuesto, en el que ambos potencian las propiedades del suelo al aplicarse conjuntamente.

El límite líquido decrece en relación con la dosificación aplicada de los agentes estabilizadores. En la Figura 3.2 puede observarse una disminución del 31% en el parámetro del límite líquido al aplicar 8% de cemento y 8% de estabilizador, respecto a la condición inicial de 2% de cemento y 0% del polímero estabilizador, al aplicar la dosificación máxima de ambos agentes.

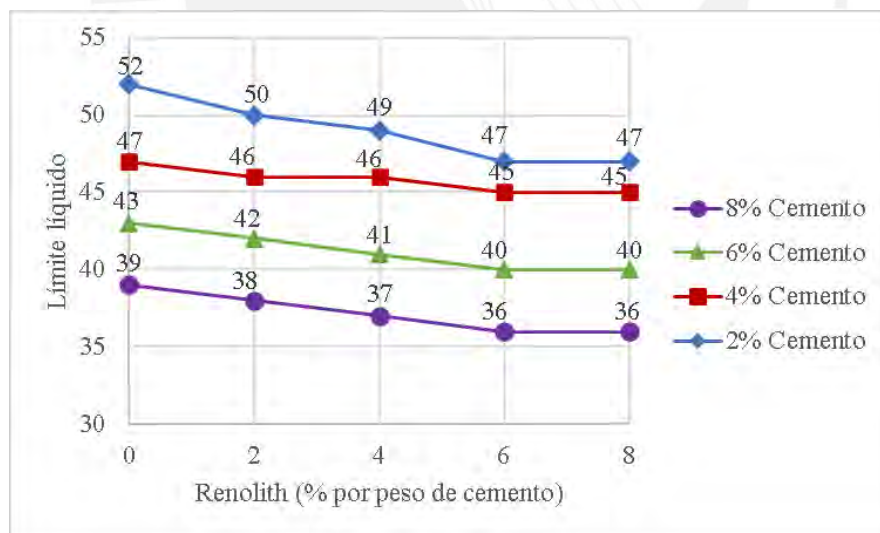


Figura 3.2: Variación del límite líquido para diferentes contenidos de cemento y estabilizador de polímero para 1 día de curado, adaptado del trabajo de Rajoria & Kaur (Rajoria & Kaur, 2015).

En la Figura 3.3 se observa que el valor de CBR presenta un incremento a razón del aumento de dosificaciones de cemento y del polímero estabilizador, presentando una mejora de aproximadamente 5 veces (22.4) respecto al valor obtenido en la condición inicial de 2% de cemento y 0% del polímero estabilizador (4.52).

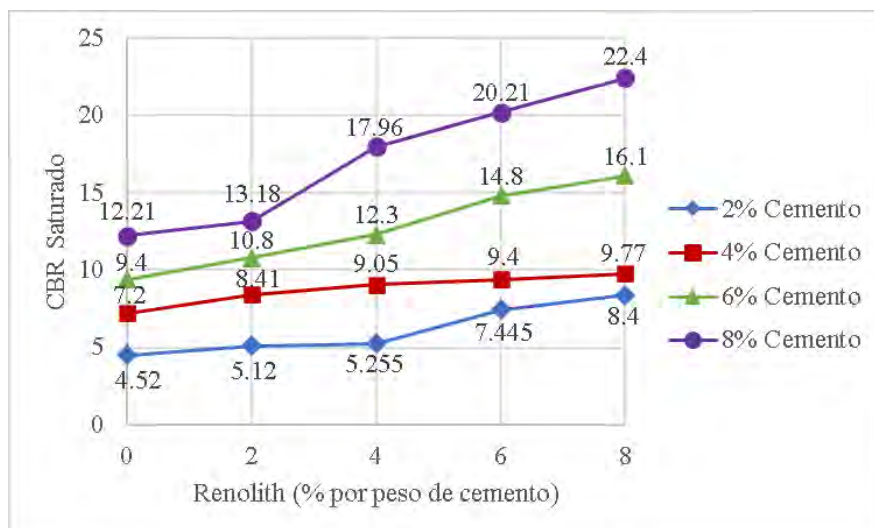


Figura 3.3: Variación del CBR para diferentes contenidos de cemento y estabilizador de polímero para 1 día de curado, adaptado del trabajo de Rajoria & Kaur (Rajoria & Kaur, 2015).

3.2. Trabajos de tesis

La tesis de pregrado de Mena (2018) tiene como objetivo principal determinar los beneficios estructurales que tiene la incorporación del estabilizador Aggrebind en el suelo limo arcilloso de baja plasticidad para el diseño de vías no pavimentadas en la Calle Morales Bermúdez, Provincia de Huaral, Lima. La exploración de una calicata tomada en la calle mencionada derivó en las siguientes conclusiones acerca de la incorporación de Aggrebind en los suelos para el diseño de vías no pavimentadas:

Todas las muestras obtienen un valor de CBR más alto respecto al del suelo natural (CBR=18.5%), valores que se pueden apreciar en la Tabla 3.4 demostrando la funcionalidad del producto.

Tabla 3.4:
Resultados de CBR al 100% de la máxima densidad seca (Mena, 2018).

Dosificación	CBR ₁₀₀ (%)	
	Penetración (0.1")	Penetración (0.2")
2 l/m ³	41.2	49.4
4 l/m ³	31.3	41.6
6 l/m ³	28.9	36.7
Suelo natural	18.5	24.7

El mayor valor de la resistencia a la presión no confinada se obtiene con el suelo mejorado con aditivo a 2 l/m³, de acuerdo con la Tabla 3.5. Se tuvo un incremento de aproximadamente 60% respecto al del suelo natural, recalcando que estos resultados son válidos para poder determinar cómo influye a la compresión simple.

Tabla 3.5:
Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión no confinada (Mena, 2018).

Dosificación	γ_d (g/cm ³)	Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²)
SN	2.028	19.22
2 l/m ³	2.046	30.61
4 l/m ³	2.046	27.98
6 l/m ³	2.046	23.13

Los porcentajes de absorción de las muestras dosificadas, ver Figura 3.4, se encuentran por debajo del natural, se tiene mejores resultados para las dosificaciones de 2 y 4 l/m³. Dado que el polímero es húmedo, este mantiene la humedad y no absorbe la del suelo, es decir, el producto absorbe menos cantidad de agua, y el agua retenida del suelo es usada para retraer la expansión de las partículas finas.

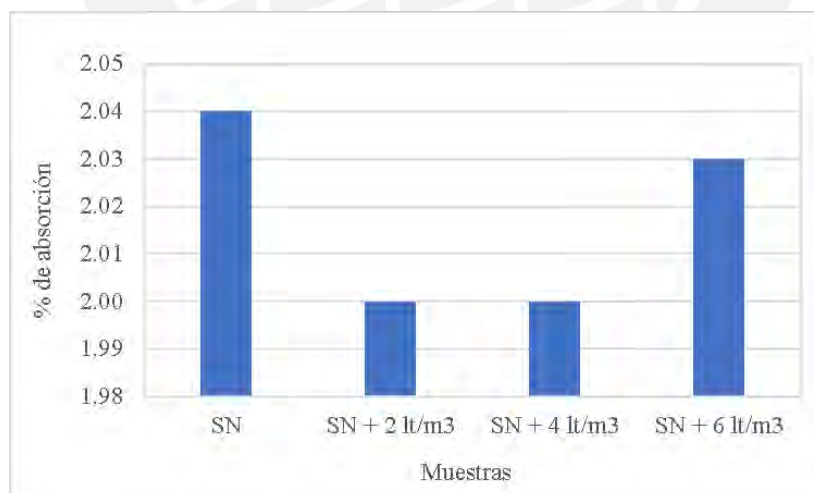


Figura 3.4: Resultados del porcentaje de absorción, adaptado del trabajo de Mena (Mena, 2018).

La tesis de De La Cruz & Salcedo (2016) evalúa el impacto del aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos en la carretera de anexo de Palian - Huancayo - Junín. El aditivo Eco Road 2000 es un estabilizador de suelos multienzimático que trabaja

mediante la electrolización de iones, generando la unión de las partículas de los suelos entre sí. Se obtienen muestras de diez calicatas a lo largo del tramo. De la adición del aditivo Eco Road 2000 al terreno natural se pudo apreciar cambios significativos para la obtención de un suelo más estable, de acuerdo con los siguientes resultados:

Se observan cambios significativos en las propiedades físicas y mecánicas. La razón de la influencia positiva se debe a que el aditivo acelera el proceso de expansión y contracción, lo cual deriva en la obtención un suelo más estable.

Las calicatas que mejoran de manera óptima con el aditivo fueron las siguientes: C-4, C-5, C-7, C-8 y C-10. Los suelos que tienen un porcentaje considerable de finos reaccionaria mejor con este polímero Eco Road 2000, estos motivos indican que no todo suelo cohesivo responde de la misma manera.

Se logra determinar que la dosificación patrón de 1 litro por 15 m^3 (66.67 ml/m^3), planteada en las especificaciones técnicas del aditivo, no deriva en el mejor resultado del parámetro CBR, variando de manera distinta en cada calicata. Para las muestras de suelo de las calicatas C-1, C-2, C-4, C-5 y C-6, el mayor valor de CBR se obtiene al aplicar la dosificación de 1 litro por 11 m^3 (90.90 ml/m^3). Las calicatas C-3, C-9 y C-10 alcanzan el valor de CBR máximo al adherir la dosificación de 1 litro por 17 m^3 (58.82 ml/m^3). Finalmente, las calicatas C-7 y C-8 obtienen el mayor valor de CBR utilizando el aditivo al 1 litro por 19 m^3 (53.63 ml/m^3) de dosificación.

Mediante los ensayos de CBR aplicando el aditivo se obtuvo que 7 calicatas llegan a tener más del 40% de CBR, lo cual determina que el suelo tratado califica como una buena sub-base. Las muestras de suelo de las calicatas C-1, C-3 y C-9 llegan a obtener un CBR_{95} máximo de 38.60, 36.10 y 21.70% respectivamente, los cuales pueden clasificarse como extraordinarias sub-rasantes en el caso de la primera y segunda, y muy buena en el caso de la tercera. La Tabla 3.6 detallan los resultados de los valores CBR al 95 y 100% de muestras tratadas con diferentes proporciones del aditivo.

Tabla 3.6:
Resumen de resultados de CBR con aplicación del aditivo (*De La Cruz & Salcedo, 2016*).

Calicata	Progresiva	Ubicación	Dosificación	CBR ₁₀₀ (%)	CBR ₉₅ (%)
C-1	0+005	Av. La Victoria - carril derecho	Suelo Natural	14.1	10.9
			90.91 ml/m ³	45.4	38.6
			76.92 ml/m ³	43.0	37.7
			66.67 ml/m ³	45.0	36.6
			58.82 ml/m ³	33.8	23.4
			53.63 ml/m ³	40.3	31.4
			47.62 ml/m ³	32.9	27.1
C-2	0+190	Av. La Victoria - carril derecho	Suelo Natural	13.5	11.5
			90.91 ml/m ³	57.2	40.8
			76.92 ml/m ³	42.1	31.2
			66.67 ml/m ³	45.9	34.4
			58.82 ml/m ³	37.2	28.5
			53.63 ml/m ³	39.6	30.7
			47.62 ml/m ³	29.9	22.1
C-3	0+200	Av. Agricultura - carril izquierdo	Suelo Natural	6.7	5.9
			90.91 ml/m ³	40.5	31.1
			76.92 ml/m ³	45.3	36.1
			66.67 ml/m ³	34.6	24.0
			58.82 ml/m ³	51.8	28.6
			53.63 ml/m ³	47.1	30.6
			47.62 ml/m ³	23.6	17.5
C-4	0+400	Av. Agricultura - carril derecho	Suelo Natural	8.9	7.4
			90.91 ml/m ³	87.8	75.7
			76.92 ml/m ³	76.0	61.4
			66.67 ml/m ³	63.7	55.9
			58.82 ml/m ³	75.2	55.4
			53.63 ml/m ³	74.4	65.5
			47.62 ml/m ³	30.0	25.1
C-5	0+810	Psje. Pedregal - carril derecho	Suelo Natural	14.0	11.1
			90.91 ml/m ³	80.4	65.2
			76.92 ml/m ³	64.8	46.4
			66.67 ml/m ³	54.5	47.2
			58.82 ml/m ³	69.2	54.9
			53.63 ml/m ³	71.2	46.2
			47.62 ml/m ³	28.4	25.9
C-6	0+770	Av. La Victoria - carril izquierdo	Suelo Natural	26.8	21.8
			90.91 ml/m ³	79.2	58.9
			76.92 ml/m ³	71.8	52.6
			66.67 ml/m ³	26.6	15.2
			58.82 ml/m ³	54.0	39.9
			53.63 ml/m ³	74.6	58.8
			47.62 ml/m ³	32.3	24.9

Calicata	Progresiva	Ubicación	Dosificación	CBR ₁₀₀ (%)	CBR ₉₅ (%)
C-7	0+650	Av. San Luis - carril izquierdo	Suelo Natural	13.7	9.1
			90.91 ml/m ³	39.7	32.6
			76.92 ml/m ³	50.7	41.2
			66.67 ml/m ³	38.3	32.2
			58.82 ml/m ³	33.9	25.8
			53.63 ml/m ³	77.0	68.4
			47.62 ml/m ³	52.0	42.2
C-8	0+100	Av. San Luis - carril izquierdo	Suelo Natural	12.6	8.6
			90.91 ml/m ³	35.1	28.5
			76.92 ml/m ³	51.5	40.5
			66.67 ml/m ³	42.8	32.7
			58.82 ml/m ³	32.7	27.5
			53.63 ml/m ³	76.4	65.7
			47.62 ml/m ³	50.5	36.8
C-9	0+100	Av. Santa Rosa - carril derecho	Suelo Natural	20.0	16.5
			90.91 ml/m ³	28.6	21.7
			76.92 ml/m ³	24.3	17.4
			66.67 ml/m ³	24.8	13.1
			58.82 ml/m ³	30.3	21.3
			53.63 ml/m ³	25.7	19.2
			47.62 ml/m ³	21.2	13.0
C-10	0+220	Av. San Luis - carril derecho	Suelo Natural	13.8	10.4
			90.91 ml/m ³	64.7	58.2
			76.92 ml/m ³	64.9	58.1
			66.67 ml/m ³	26.0	20.6
			58.82 ml/m ³	73.5	64.6
			53.63 ml/m ³	70.7	63.7
			47.62 ml/m ³	29.3	24.5

La tesis para el título de ingeniero civil de Curitomay (2018) trata acerca de la estabilización con polímero tipo copolímero en suelos arcillosos de obras viales de mediano tránsito. El estudio se realizó en el distrito de Socos, en la carretera que conecta Comunidad Campesina de Pucaloma y la Comunidad Campesina de Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu (Ruta N°AY-795, trayectoria: Emp. AY-789 (Pucaloma) - Marccari - Emp. AY-794). El aditivo en mención es un polímero de acrilato hidroxipropilo, el cual es una sustancia química que reacciona con los iones libres del suelo, produciendo compuestos hidratados que con el tiempo se polimerizan. De esta manera, el suelo se vuelve más viscoso hasta que toda la disolución petrifica primero, y se solidifica después. La tesis derivó en las

siguientes conclusiones:

La caracterización física del suelo sin tratar se denota como arena arcillosa de baja plasticidad para la muestra M-01, y como arcillas de mediana plasticidad para las muestras M-02, M-03 y M-04, con un mediano potencial de expansión. Los resultados se encuentran plasmados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7:
Clasificación según SUCS y AASHTO de muestras en estado natural, adaptado del trabajo de Curitomay (Curitomay, 2018).

Muestra	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	SUCS	AASHTO
M-01	33	21	12	Arena con componente arcilloso (SC)	Arena arcillosa o limosa de baja plasticidad A-2-6 (4)
M-02	34	22	12	Arcillas (CL)	Arcilla de mediana plasticidad A-6 (16)
M-03	33	16	17		
M-04	44	23	21		Arcilla de alta plasticidad A-7-5 (20)

Se logró incrementar los valores de CBR_{95} y CBR_{100} debido a la adición del polímero en diferentes dosificaciones óptimas. La Tabla 3.8 señala que el incremento más considerable lo presenta la muestra M-01, cuyo valor de CBR_{100} incrementa en un 61.34% (de 11.90 a 19.20%) al añadir 12% de polímero.

Tabla 3.8:
Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero, adaptado del trabajo de Curitomay (Curitomay, 2018).

Muestra	Suelo natural		Suelo con porcentaje de polímero		
	CBR_{95}	CBR_{100}	% Óptimo de polímero	CBR_{95}	CBR_{100}
M-01	11.50	11.90	12.00	14.90	19.20
M-02	10.00	10.20	8.00	11.00	12.70
M-03	8.80	9.60	12.00	11.70	13.30
M-04	4.20	4.20	10.00	5.20	5.50

4. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe los pasos que se realizaron para comprobar la hipótesis planteada. Cabe resaltar que la toma de las muestras y las pruebas de laboratorio fue realizada por los autores del presente trabajo, el cual se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Por otro lado, la selección y procedimientos de los ensayos están basados en el “Manual de Ensayos y Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), además de contar con el soporte del asesor y personal del laboratorio.

4.1. Diseño, tipo y enfoque de la investigación

La exploración se extiende en el campo experimental. Esto debido a la manipulación conveniente de las variables de estudio, a las cuales se les puede dar seguimiento mediante el incremento o disminución de las mismas en beneficio de la investigación (Hernández & Menoza, 2018).

El estudio se encuentra dentro de la investigación aplicada. Esto se afirma porque en la investigación aplicada, el investigador busca resolver un problema conocido y encontrar respuestas a preguntas específicas. El enfoque para esta investigación es la solución práctica de estos problemas a través de un sustento empírico y cuantitativo. Este estudio de investigación es de nivel descriptivo y explicativo, ya que responde a la problemática que se plantea en la hipótesis, las cuales se validan según los resultados del experimento (Gallardo, 2018).

El tipo de enfoque es cuantitativo, ya que este se desarrolla a raíz de una medición numérica. Este procedimiento, a partir de una recolección de datos, facilitará el hecho de establecer patrones de comportamiento y probar la hipótesis formulada (Arias et al., 2022).

4.2. Procedimiento

Los ensayos seleccionados se determinaron a partir de los objetivos planteados en el

capítulo 1, es por ello que se realizó, en primer lugar, la recolección de la muestra del suelo en el terreno escogido para la realización de este estudio. Se optó por este terreno gracias a la facilidad y apoyo dado por los propietarios. Por otro lado, la elección de las concentraciones de la cantidad de polímero a emplear se determinó en base a la revisión de estudios previos, los cuales se encuentra en el capítulo 3. Adicionalmente, esta decisión refleja hasta que cantidad de polímero de estireno acrílico es admitido en el tipo de suelo en el que se está realizando la investigación. En la Figura 4.1 se detalla un resumen a través de un flujograma, el cual muestra el proceso que se realizó para obtener los resultados y la dosificación óptima.

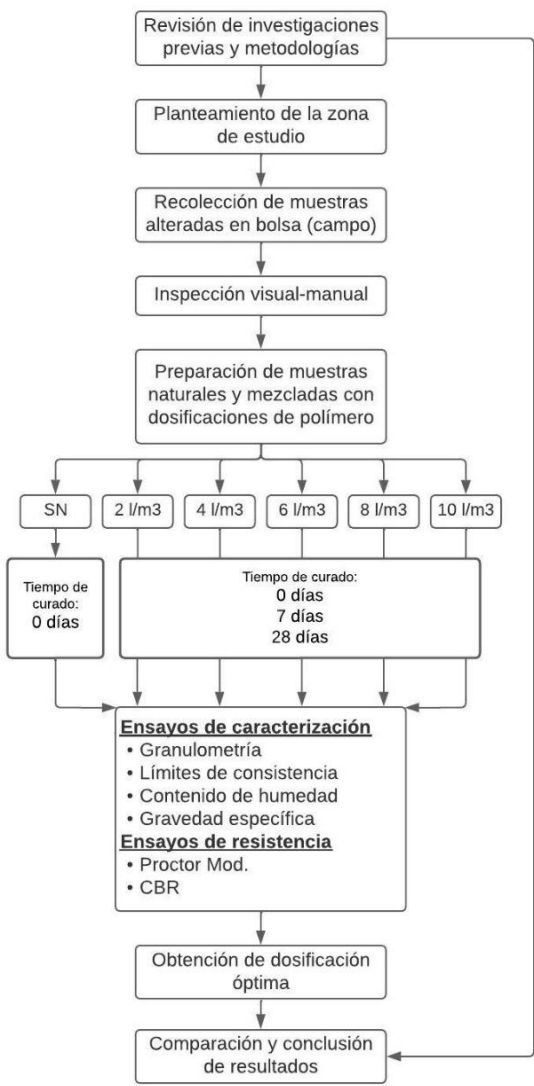


Figura 4.1: Flujograma de la investigación experimental (Fuente: propia).

Luego de determinar la ubicación y dosificaciones, se procede a realizar la excavación de calicatas, almacenamiento y secado de muestras (Figura 4.2, Figura 4.3 y Figura 4.4), seguido de la ejecución los ensayos de propiedades índice del suelo, los cuales son análisis granulométrico, contenido de humedad, límites de Atterberg y gravedad específica. En primera instancia, estos ensayos se realizan con el suelo en estado natural, sin agregar ninguna concentración del polímero, para determinar posteriormente como su naturaleza varía al mezclar el suelo con las dosificaciones seleccionadas, a través de la ejecución de los mismos ensayos de caracterización.



Figura 4.2: Excavación de calicata y recolección de muestra (Fuente: propia).



Figura 4.3: Muestras almacenadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos PUCP (Fuente: propia).



Figura 4.4: Secado al aire de las muestras (Fuente: propia).

Seguido de la recolección de resultados de las propiedades índices, se realizan los ensayos para determinar las propiedades mecánicas, los cuales son el de Proctor modificado y CBR (Figura 4.7). Asimismo, como los ensayos de propiedades índice, se realizaron estas pruebas con las dosificaciones seleccionadas, realizando las mezclas correspondientes de agua-polímero (Figura 4.5) para posteriormente obtener las muestras tratadas (Figura 4.6). Por otro lado, los resultados obtenidos nos describen hasta qué dosificación el polímero de estireno acrílico incrementa las características mecánicas del suelo obtenidas de los ensayos, esta se denominaría como la dosificación óptima.



Figura 4.5: Mezcla líquida de polímero de estireno acrílico con agua (Fuente: propia).



Figura 4.6: Muestras preparadas para ensayo CBR (Fuente: propia).



Figura 4.7: Prensa de carga para el ensayo CBR (Fuente: propia).

5. CASO DE ESTUDIO

5.1. Zona de estudio

La zona de estudio presenta vías no pavimentadas, con daños causados como agujeros, desniveles y materiales granulares grandes esparcidos en el camino. Las avenidas principales sí cuentan con pavimentación de asfalto, aunque en malas condiciones.

El estado precario se debe a que la trocha se encuentre dentro de una zona de canteras, por lo que el tránsito de maquinarias pesadas, camiones y volquetes es frecuente. El constante tránsito de carga pesada debido a los vehículos pesados genera daños permanentes

en estos caminos.

El lugar de recolección de las muestras de suelo se encuentra en la intersección de las avenidas Cusco y Yahuar Huácac, en el poblado de San Antonio de Jicamarca, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. En la Tabla 5.1 se describe la localización, y la Figura 5.1 revela un panorama más amplio del terreno.

Tabla 5.1:
Localización de la zona de estudio (Fuente: propia).

Ubicación	
Distrito	San Antonio de Chacla
Provincia	Huarochirí
Departamento	Lima
Vía de acceso	Av. Yáhuar Huácac
Latitud	11°55'18.30"
Longitud	76°57'20.25"

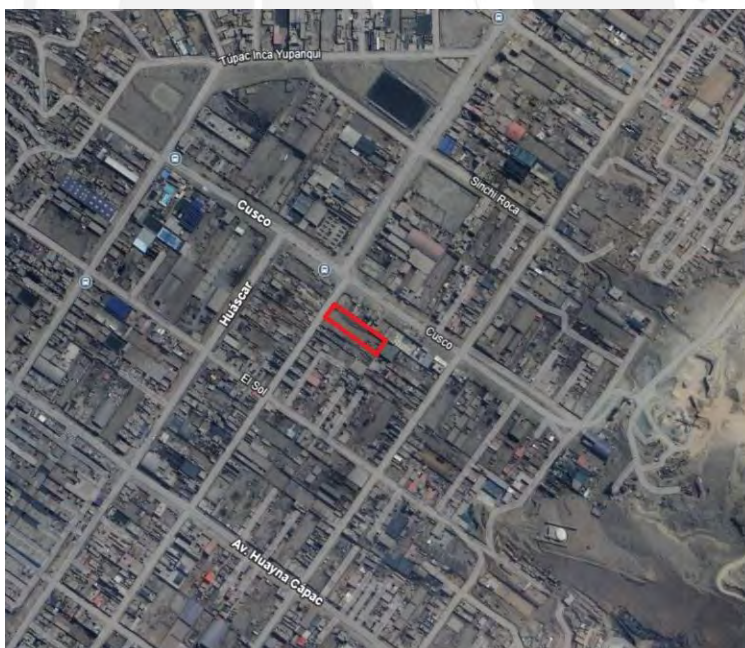


Figura 5.1: Vista satelital (Fuente: Google Maps).

El terreno presenta una topografía medianamente accidentada, con una pendiente ligeramente pronunciada (ver Figura 5.2). Las pistas adyacentes pueden definirse como trochas carrozables en mal estado. Por otro lado, el clima tiende a ser cálido, con poco o nada de precipitación en todas las temporadas.



Figura 5.2: Terreno de la zona de estudio (Fuente: propia).

5.2. Recolección de muestras

El MTC determina en el Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos hace mención que se debe realizar las calicatas para identificar el tipo suelo en la sub rasante, estas tendrán una profundidad de 1.50 m y la cantidad la determinan en un cuadro resumen según el tipo de carretera y su longitud. Este caso de estudio se enfoca al mejoramiento del suelo natural para que pueda cumplir como base de una pista pavimentada o como opción alternativa al afirmado para un camino no pavimentado, es por eso que para un bajo volumen de tránsito se debería realizar una calicata por cada kilómetro de longitud; sin embargo, al tratarse de un terreno y no una carretera, el área a la cual tenemos acceso, se decidió en conjunto con el asesor de realizar 3 calicatas para determinar si el tipo de suelo es uniforme, tal como se puede apreciar en la Figura 5.3.



Figura 5.3: Recolección de muestra de calicata 2 (Fuente: propia).

5.3. Dosificación de PEA y tiempos de curado

Según lo presentado en el marco teórico por Abd (2023) en su investigación de “Estabilización de suelos usando copolímeros”, el polímero se usa en una proporción de 4 litros con 20 litros de agua por metro cúbico de suelo, teniendo este un contenido de partículas finas del 35%. De la misma manera, por recomendación del proveedor del polímero, hace mención que la dosificación se encuentra en función a la cantidad de partículas finas que contiene un suelo. Sin embargo, da hincapié que para un suelo con un contenido del 35% que pasa la malla #200 se debe utilizar 4 litros de polímero por metro cúbico de suelo, reemplazando parte del agua del contenido de humedad óptima, ya que la densidad del polímero es similar a la del agua, por lo que esta propiedad no se ve afectada. Adicionalmente, en la tesis desarrollada por Mena (2018), las concentraciones empleadas para determinar la cantidad óptima de polímero parten como base de la sugerida por el proveedor y similares a los porcentajes de humedad utilizadas en el desarrollo del ensayo Proctor para determinar la humedad óptima y conocer cómo afecta la proporción del polímero en su suelo de estudio. De la misma manera, para este caso de estudio se optó por aplicar diferentes concentraciones para conocer cómo varía el comportamiento de las propiedades de este suelo tomando como sugerencia las recomendaciones y estudios

mencionados. Para mantener la humedad óptima determinada por el ensayo Proctor y CBR, parte del agua agregada a la muestra de suelo a ensayar será reemplazado por el polímero, de esta manera se introduce la dosificación escogida y se mantiene el peso del líquido para evitar la variación de la humedad. El cálculo para realizar el reemplazo de polímero por agua se hace de manera directa debido a que las densidades de estos son similares. En la ecuación empleada para el cálculo de la cantidad de polímero a reemplazar se emplea la densidad del suelo, del agua y la concentración utilizada del polímero.

Por otro lado, para obtener una mayor precisión sobre el impacto del polímero en el suelo, así como obtener una dosificación óptima, se opta por realizar ensayos a muestras en estado natural y con dosificaciones de 2, 4, 6, 8 y 10 l/m³ para los tiempos de curado en 0, 7 y 28 días. Estos tiempos de curado son esenciales para el estudio de impacto del polímero en el suelo, debido a que, como se muestra en la Figura 2.5, la resistencia va incrementando en relación al tiempo. Esto se debe a que el proceso de curado, o secado al aire, permite que el polímero forme puentes entre partículas y reduzca los vacíos entre ellas, como se aprecia en la Figura 2.6 y la Figura 2.7, lo cual genera una mejora progresiva en su resistencia. Debido a esto se decide, por recomendación del proveedor y lo presentado en la investigación de Abd (2023), tomar 3 periodos de curación los cuales son los siguientes: a) 0 días, para analizar si el polímero tiene un impacto inmediato al ser ensayado en el suelo; b) 7 días, para observar cómo incrementa la resistencia debido a la formación de enlaces y reducción de vacíos; y, finalmente, c) 28 días, para comprobar, que según lo revisado, alcance la mayor resistencia al culminar su proceso de reticulación.

Por lo dicho previamente, la cantidad de polímero a utilizar depende del porcentaje de humedad y la densidad del suelo. Es por ello que se empieza por realizar las mezclas para el ensayo de Proctor modificado porque para hallar las cantidades se toma como dato inicial la densidad máxima seca obtenido de este ensayo, pero en la condición natural del suelo. De igual manera, estas dosificaciones se aplicaron en muestras de 6 kg, es decir que se hicieron

3 juegos de cada concentración con esta cantidad para los ensayos de propiedades índice, Proctor modificado y CBR. Asimismo, para el suelo en estudio se obtuvo la concentración óptima que admite el suelo según los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

5.4. Ensayos de laboratorio

El número de muestras preparadas y la cantidad aproximada de material requerida por muestra se detallan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2:
Detalle de los ensayos seleccionados (Fuente: propia).

Norma	Ensayo de laboratorio	Unidad	Nº de ensayos	Parámetros esperados
ASTM D 422	Análisis granulométrico	UND	8	%G, %S y %F
ASTM D 2216	Contenido de humedad.	UND	6	ω
ASTM D 4318	Límites de consistencia	UND	6	LL, LP e IP
ASTM D 1557	Compactación tipo Proctor Modificado	UND	6	ω_{opt} y γ_{d-max}
ASTM D 1883	Método de prueba estándar para CBR	UND	16	CBR ₉₅ , CBR ₁₀₀

5.4.1. Propiedades Índice

El trabajo de laboratorio inicia con los ensayos de caracterización del suelo natural, para la obtención de sus propiedades índice, estos son granulometría, porcentaje de humedad, límites de consistencia y gravedad específica. Se realizaron ensayos para el suelo en estado natural y el modificado con las dosificaciones definidas anteriormente. Para los ensayos con polímero de estireno acrílico se preparó la muestra primero y luego se siguió el mismo procedimiento que se describe en adelante.

La selección de estos ensayos se realiza según lo determinado por el “Manual de Ensayo de Materiales” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los cuales siguen y cumplen con los requisitos y procedimientos de la ASTM. Es por eso que para iniciar la granulometría se utiliza un cuarteador mecánico (Figura 5.5), posterior al secado al aire de las muestras (Figura 5.4), para evitar que los resultados salgan dispersos ya que en la

recolección puede ocurrir que en un saco haya mayor presencia de gravas, mientras que en otro haya mayor de arenas, lo cual ocurre porque el material se acopia previo al almacenamiento lo que genera asentamiento de las partículas y esto produce resultados incongruentes. Seguidamente de la selección de la muestra, se procede a separar por el tamiz n°10 (Figura 5.6) para quitar con agua las impurezas adheridas en las partículas mayores y menores al tamiz empleado, las cuales son secadas en un horno a 100 °C posteriormente. Finalmente, el material seco pasa por los tamices descritos en el manual, y se procede a anotar los pesos que se retiene en cada bandeja para posteriormente realizar la curva granulométrica y obtener los porcentajes del tamaño de cada partícula que posee.





Figura 5.4: Secado al aire para el cuarteo (Fuente: propia).



Figura 5.5: Separación de muestra para Granulometría (Fuente: propia).



Figura 5.6: Muestra que pasa la malla N° 10 para lavar (Fuente: propia).

El ensayo de contenido de humedad es para identificar el porcentaje de agua que posee el suelo con respecto a su peso seco, en este caso se identifica la humedad en su estado natural a pesar que en el transporte y almacenamiento distorsione el resultado. Además, se determinará la humedad óptima, es decir la cantidad de agua que necesita el suelo para llegar

a su mayor densidad, por medio de otro ensayo, el cual es el Proctor. Este ensayo de contenido de humedad consiste en separar por bandejas, como mínimo 2, una cantidad considerable de suelo (alrededor de 200 g) para colocarlo en el horno a 100 °C hasta el día siguiente (Figura 5.7); para posteriormente pesarlo y medir, en gramos, la cantidad de agua que se evaporó.



Figura 5.7: Muestras en el horno para el ensayo de humedad (Fuente: propia).

El límite líquido es un ensayo en el que se determina la humedad en la cual el material, que pasa la malla n° 40 ($425 \mu m$), se encuentra entre los estado líquido y plástico. Para obtener esta humedad primero se reúne aproximadamente 100 gramos de suelo que pase el tamiz indicado para secarlo en un horno a 110 °C. El siguiente paso es agregarle agua en pequeñas cantidades para colocarlo en la cuchara de Casagrande (Figura 5.8), en la cual se coloca una porción limitada de la mezcla con la forma del instrumento para hacerle una incisión en el centro. Esta cuchara se deja caer a un centímetro de su base a una velocidad de dos vueltas por segundo, por lo que las partes divididas se juntarán. La cantidad de agua se agrega de manera empírica para controlar la cantidad de golpes en la que las partes se unirán y así determinar el límite líquido.



Figura 5.8: Ensayo de límite líquido (Fuente: propia).

El ensayo de límite plástico es para determinar la humedad mínima con la que el suelo entra en estado plástico. Para desarrollar esta prueba se vierte la mínima cantidad agua al material tamizado por el tamiz n° 40, secado en el horno a 110° C, para formar un rollo de aproximadamente 0.25 pulgadas sin que se desmorone con facilidad (Figura 5.9).



Figura 5.9: Ensayo de límite plástico (Fuente: propia).

Se realizó el ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos del suelo mediante picnómetro de agua para conseguir la relación entre la masa del volumen del sólido y la del agua a una temperatura estándar. Para realizar este ensayo, se comienza con el tamizado de la muestra por la malla n° 4, la cual es secada al horno. Posterior a este paso, se agrega la muestra y agua destilada en el picnómetro (Figura 5.10), para que el material se asiente, tomando la temperatura del agua. Después de un día que se preparó el picnómetro, se procede a retirarle el aire que contiene mediante una bomba de vacío, como se muestra en la Figura

5.11. Finalmente, se procede a pesar el picnómetro, con su contenido, para finalmente realizar los cálculos especificados en el manual para determinar la gravedad específica.



Figura 5.10: Colocación de suelo en el picnómetro con agua para el ensayo de G_s (Fuente: propia).



Figura 5.11: Picnómetros en la bomba de vacío para extraer el aire (Fuente: propia).

5.4.2. Propiedades Mecánicas

Inmediatamente terminados los ensayos de propiedades índices, se realizaron las pruebas referentes para obtener las propiedades mecánicas del suelo natural y los modificados por el polímero de estireno acrílico. De la misma manera que en las propiedades índices, se prepararon las muestras con polímero para luego ensayarlas como se describe en el procedimiento correspondiente a cada prueba. Sin embargo, para el ensayo de CBR se realizaron tres etapas; la primera, se realizó siguiendo el procedimiento regular según la

norma ASTM D 1883; la segunda, luego del proceso de compactación se dejó reposar al aire (curando) los moldes por 7 días antes de ser sumergidas; y la tercera, se dejó reposar por 28 días previos a la inmersión al pozo de agua.

En primer lugar, se realizó el ensayo de Proctor modificado para identificar la humedad óptima, la cual al introducirla al suelo proporciona la mayor densidad de este. El método empleado fue el "C", debido a que la cantidad de material retenido en la malla 3/8" supera el 20% y lo retenido en la malla 3/4" es menor a 30%, en el que se compactarán 5 capas de suelos, con la misma cantidad de material, con 56 golpes producidos de forma manual por un pisón de 4.54 kg a una distancia de 457.2 mm. Previo a este procedimiento, se preparan 5 muestras con suelo, secado en horno, y humedades diferentes, en este caso se empleó desde el 2% hasta el 10% en secuencia par, para determinar en qué porcentaje se encuentra la humedad óptima, para lo cual se realiza un gráfico de humedad vs densidad. Los pasos del desarrollo del ensayo Proctor modificado se pueden apreciar en la Figura 5.12.

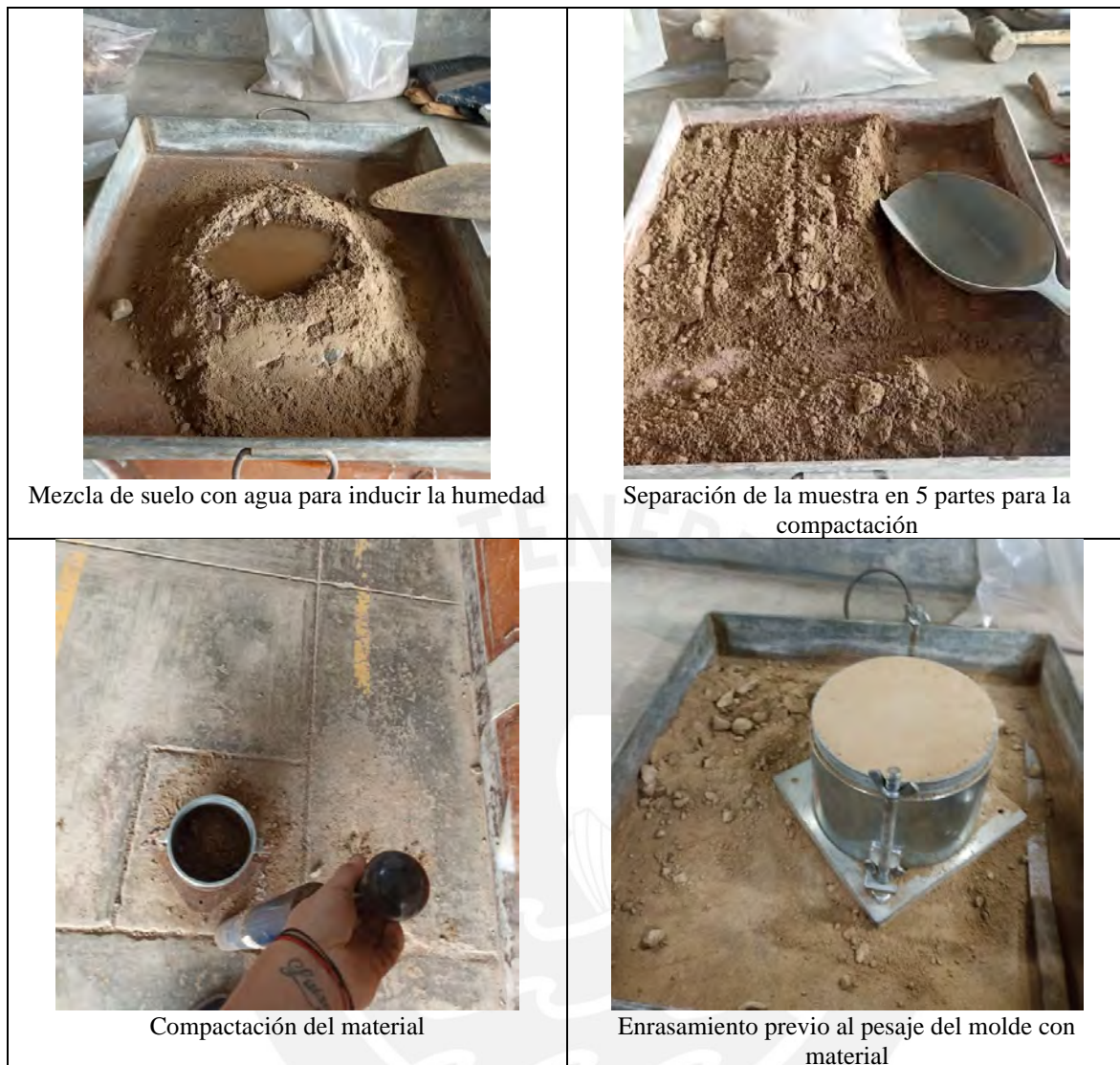


Figura 5.12: Ensayo de Proctor modificado (Fuente: propia).

El ensayo CBR depende de la realización del ensayo anterior debido a que se necesita la humedad óptima para preparar las muestras, las cuales se someten a diferentes energías de compactación, lo cual se mide según la cantidad de golpes por capa ya que en este ensayo se sigue un procedimiento similar al Proctor modificado con relación a la compactación. El molde que se emplea es de 6" de diámetro, pero su altura es mayor que la usada en el ensayo anterior, además, se utiliza un disco separador. El ensayo de CBR se realiza con 3 moldes con energías diferentes (12, 25 y 56 golpes), los cuales deben de sumergirse en un pozo con agua por cuatro días. Posterior a esto, se retira del pozo para escurrir el agua excedente en los moldes para luego colocarlo en un pistón de penetración, el cual le ejerce una penetración

de 1.27 mm por minuto. Finalmente, se realiza un gráfico de la carga que aplicó el pistón vs la distancia de penetración para evaluar la curva ya que su forma determina si esta necesita una corrección; con el gráfico en orden, se toman las lecturas de carga para la penetración de 0.1” y 0.2” para calcular el valor de la relación de soporte (índice de resistencia de CBR). Los pasos del desarrollo del ensayo Proctor modificado se pueden apreciar en la Figura 5.13.



Figura 5.13: Ensayo CBR (Fuente: propia).

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. Ensayos de propiedades índice

6.1.1. Análisis granulométrico

La Tabla 6.1 corresponde a los porcentajes de material que pasa de las muestras preparadas que cruzan diferentes tamices.

Tabla 6.1:
Porcentaje acumulado que pasa de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)					
		SN	2 l/m ³	4 l/m ³	6 l/m ³	8 l/m ³	10 l/m ³
3"	76.20	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	93.52	100.00	100.00	98.04	100.00	99.02
1"	25.40	89.15	94.62	100.00	93.17	97.61	96.58
3/4"	19.05	84.08	88.68	100.00	89.00	94.93	94.49
3/8"	9.53	73.18	79.09	90.80	78.67	83.54	84.73
#4	4.76	66.21	68.00	74.17	66.97	71.09	70.57
#10	2.00	60.05	54.74	56.59	52.93	56.73	54.76
#20	0.84	49.77	44.78	45.00	45.92	45.78	45.53
#40	0.42	42.30	35.30	39.05	38.72	37.91	38.92
#60	0.26	37.86	28.18	35.18	32.81	32.29	33.72
#140	0.106	33.76	19.68	27.82	25.01	24.22	26.12
#200	0.075	30.26	16.89	23.99	22.96	20.86	23.21
< #200	Fondo	--	--	--	--	--	--

Al ordenar adecuadamente los porcentajes de gravas, arenas y finos, puede notarse que el porcentaje de finos disminuye en todas las dosificaciones con el polímero de estireno acrílico, respecto al contenido inicial de finos. De acuerdo con la Tabla 6.2, puede notarse la predominación de arenas en todas las muestras tratadas, sin embargo, también hay una

cantidad significativa de grava, seguida de un porcentaje de finos que no supera el 24% en todas las muestras tratadas.

Tabla 6.2:
Porcentajes de gravas, arenas y finos de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Muestras	Porcentaje que pasa (%)		
	% Gravas	% Arenas	% Finos
SN	33.79	35.95	30.26
2 l/m ³	32.00	51.11	16.89
4 l/m ³	25.83	50.18	23.99
6 l/m ³	33.03	44.01	22.96
8 l/m ³	28.91	50.23	20.86
10 l/m ³	29.43	47.36	23.21

En la Figura 6.1 se presentan las curvas granulométricas de las muestras preparadas de suelo obtenidos del ensayo de granulometría por tamizado.

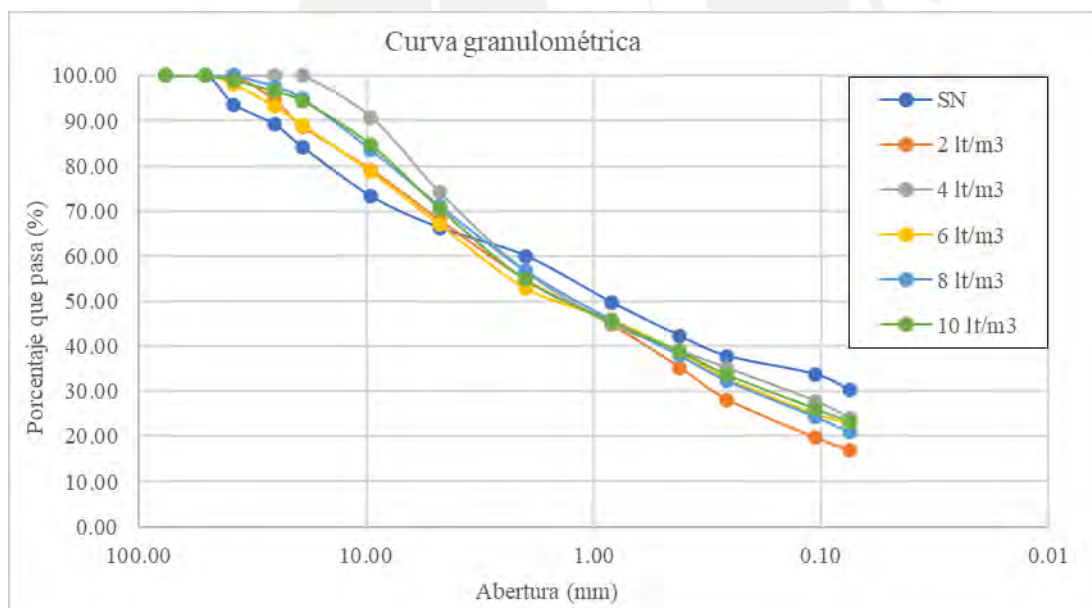


Figura 6.1: Curva granulométrica de las muestras de suelo (Fuente: propia).

6.1.2. Límites de Atterberg

Los resultados de límites de consistencia (o Atterberg) derivan del resultado de promediar los valores de 3 pruebas de límite líquido y los valores de 2 pruebas de límite plástico, los cuales se detallan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3:
Ensayos de Límites de Atterberg de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Muestras	Límite de Atterberg		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SN	21.00	NP	NP
2 l/m ³	16.50	NP	NP
4 l/m ³	19.00	NP	NP
6 l/m ³	16.50	NP	NP
8 l/m ³	17.00	NP	NP
10 l/m ³	16.50	NP	NP

A continuación, se presentan las curvas del contenido de humedad del límite líquido para las distintas muestras.

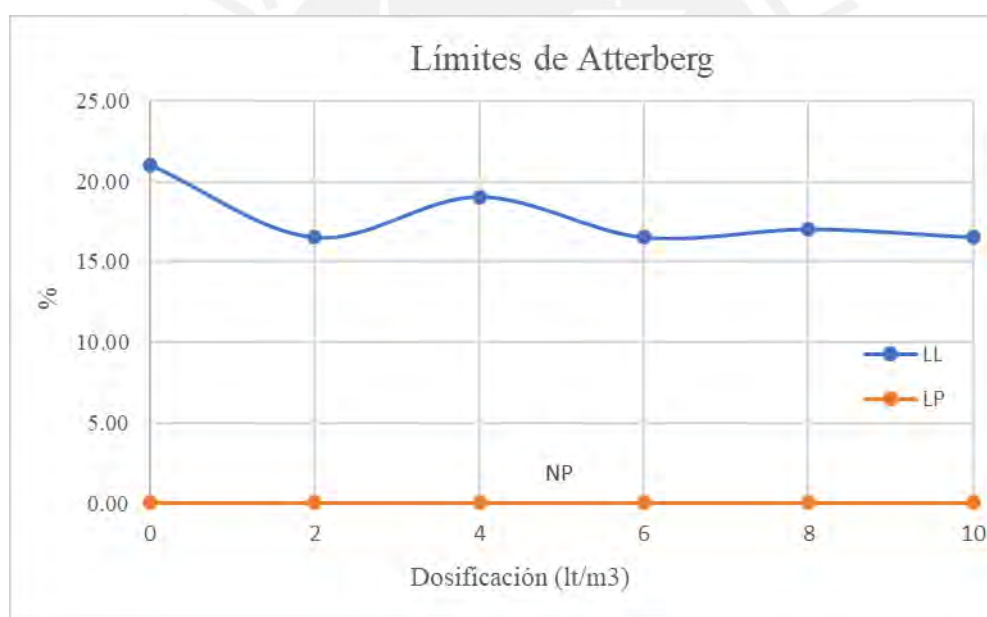


Figura 6.2: Límites de Atterberg de las muestras de suelo (Fuente: propia).

El valor más alto lo presenta la muestra de suelo en estado natural (21). Posteriormente, el valor del límite líquido prosigue con un descenso para las dosificaciones establecidas. Los valores de límite líquido disminuyeron hasta un 21.43% (2, 6 y 10 l/m³) respecto al hallado en su estado natural, pero se mantuvieron constantes al aumentar la dosificación de polímero. Por otro lado, al realizar la prueba de plasticidad, en todos los casos no se logró amasar el rollo con diámetro de 3 mm por lo que se determina que no posee plasticidad. Esto quiere

decir que estamos en presencia de arenas con limos no plasticos.

6.1.3. Contenido de humedad

El resultado del contenido de humedad deriva del promedio de los valores resultantes de 3 pruebas de contenido de humedad, cuyos resultados pueden apreciarse en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4:
Ensayo de humedad natural (Fuente: propia).

N° Ensayo	1	2	3
ω (%)	1.45%	1.46%	1.43%
ω_{prom} (%)	1.45%		

El suelo presenta humedad natural baja, la cual corresponde con los factores climáticos y ambientales propios de la zona, donde la humedad es muy baja, clima es usualmente cálido y la vegetación es escasa. De la misma manera, al momento de la excavación se constató que este se encontraba seco desde de la superficie hasta la profundidad final de las calicatas.

6.1.4. Gravedad específica

El ensayo de gravedad específica se realizó con material de suelo que pasa por la malla #10. Se separan aproximadamente dos muestras de 40 gramos para dos pruebas y se obtiene el valor promedio.

Aunque imperceptible, se revela un incremento del parámetro respecto a valor obtenido en su estado natural. Presenta su valor más elevado con la dosificación de 6 l/m³ (aumenta un 2.2% respecto al del suelo natural) y su valor más bajo con la dosificación de 10 l/m³ (aumenta un 0.4% respecto al del suelo natural), y posteriormente decrece en las siguientes concentraciones de aditivo. Los valores de gravedad específica pueden apreciarse en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5:
Gravedad específica de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Muestras	Gs
SN	2.725
2 l/m ³	2.766
4 l/m ³	2.758
6 l/m ³	2.785
8 l/m ³	2.741
10 l/m ³	2.735

Estos resultados son consistentes con la naturaleza del ensayo, ya que la gravedad específica depende de la composición mineralógica de las partículas sólidas, la cual no varía significativamente por la adición del aditivo en las muestras evaluadas.

6.1.5. Clasificación de suelos

Una vez culminado con los ensayos para la obtención de propiedades índice, se procede a analizar y rescatar los datos necesarios para poder clasificar las muestras de suelo mediante las metodologías SUCS Y AASHTO. De acuerdo con los resultados de tamizado y de límites de consistencia se puede obtener la clasificación SUCS y AASHTO de las muestras tratadas con el polímero acrílico de estireno.

En la Tabla 6.6 puede observarse un resumen de las propiedades índice, los porcentajes de agregados y finos, así como los parámetros que indican el valor de gradación.

Tabla 6.6:
Resumen de resultados de ensayos de clasificación (Fuente: propia).

Parámetro	Símbolo	Unidad	SN	2 l/m ³	4 l/m ³	6 l/m ³	8 l/m ³	10 l/m ³
Contenido de grava	G	%	33.79	32.00	25.83	33.03	28.91	29.43
Contenido de arena	S	%	35.95	51.11	50.18	44.01	50.23	47.36
Contenido de finos	F	%	30.26	16.89	23.99	22.96	20.86	23.21
Diámetro efectivo (50%)	D ₅₀	mm	0.86	1.32	1.22	1.39	1.17	1.28
Contenido de humedad natural	ω	%	1.45%	--	--	--	--	--
Límite líquido	LL	%	21	16.5	19	16.5	17	16.5
Límite plástico	LP	%	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Índice de plasticidad	IP	%	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Gravedad específica	G _s	--	2.73	2.77	2.76	2.79	2.74	2.74
Clasificación SUCS	SUCS	--	SM	SM	SM	SM	SM	SM
Clasificación AASHTO	AASHTO	--	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)

En estado natural, el suelo puede clasificarse como arena limosa. Para las muestras tratadas, los suelos mantienen su clasificación como arenas limosas, sin embargo, el contenido de finos disminuye debido a la aplicación del polímero. En general, el material se caracteriza por tener una consistencia estable y presentar un porcentaje de finos entre el 20.86% y 30.26%. Asimismo, las muestras tratadas presentan una leve disminución del valor de límite líquido y mantienen la característica de nula plasticidad.

6.2. Ensayos de propiedades mecánicas

6.2.1. Ensayo Proctor modificado

La Figura 6.3 detalla las curvas de compactación de las muestras de suelo con diferentes dosificaciones del polímero de estireno acrílico a partir de los resultados de

humedad y densidad seca.

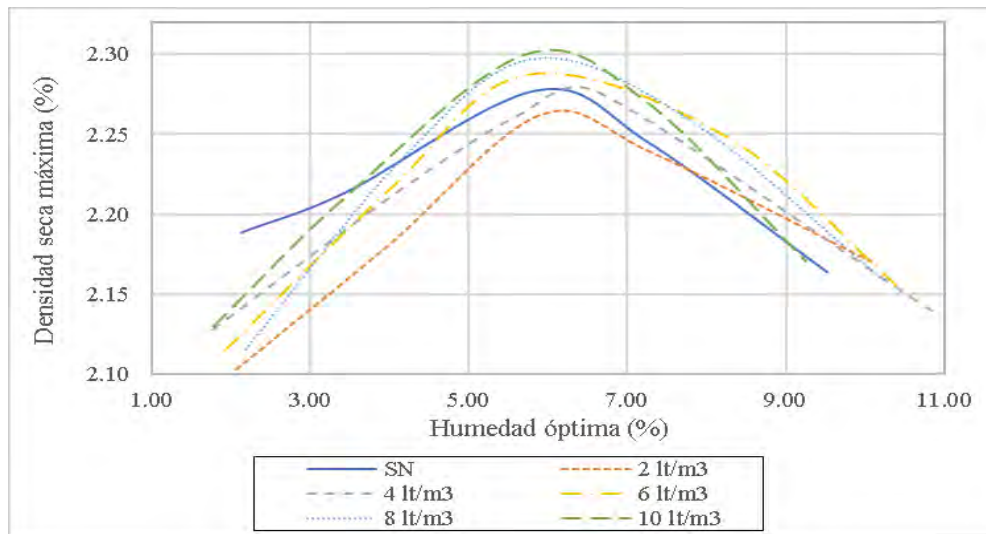


Figura 6.3: Curvas de compactación de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Posteriormente, hallamos los valores de humedad óptima y densidad máxima seca a partir de las curvas de compactación. Los resultados se ven reflejados en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7:
Resultados de compactación Proctor Modificado de las muestras de suelo (Fuente: propia).

Muestras	Proctor Modificado	
	Humedad óptima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)
SN	6.10	2.280
2 l/m ³	6.25	2.265
4 l/m ³	6.40	2.280
6 l/m ³	6.00	2.290
8 l/m ³	6.00	2.300
10 l/m ³	6.05	2.305

Los valores de humedad óptima y de densidad máxima seca no presentan grandes variaciones al alterar la muestra con aditivo. Sin embargo, puede notarse un ligero incremento progresivo de la máxima densidad seca a partir de la muestra preparada con 2 l/m³ de dosificación (2.265 g/cm³), hasta el valor obtenido de la muestra preparada con 10 l/m³ de dosificación (2.305 g/cm³).

En el capítulo de revisión de literatura podemos encontrar que en la tesis de pregrado

de Mena (2018) en la cual podemos observar que la máxima humedad óptima y la máxima densidad seca obtenida de la mezcla del suelo con PEA no cambian significativamente respecto al del suelo natural, lo cual ocurre en el presente caso de estudio. Asimismo, en el trabajo académico de Ahmed & Radhia (2019) ocurrió de manera similar esta mínima variación en los resultados obtenidos en el Proctor Modificado a pesar de que se utilizaron diferentes polímeros al caso de estudio.

6.2.2. Relación de soporte de California (CBR)

Los resultados derivan de la base de datos correspondiente a las penetraciones de 0.1” para las energías de compactación de 12, 25 y 56 golpes. Como se esperaba, a menor energía de compactación menor es la densidad seca del suelo.

En las siguientes figuras se detallan los resultados finales del ensayo CBR correspondientes a las muestras compactadas bajo la condición de máxima densidad seca. Para el análisis se consideran los valores de resistencia a la penetración a 0.1”, tomando como referencia los resultados a los niveles de compactación del 100 % y 95 %, designados como CBR₁₀₀ y CBR₉₅ respectivamente, evaluados en diferentes tiempos de curado.

La Figura 6.4 detalla los valores CBR a 0.1” de penetración, para las energías de compactación al 100% y 95% de la máxima densidad seca y 0 días de secado.

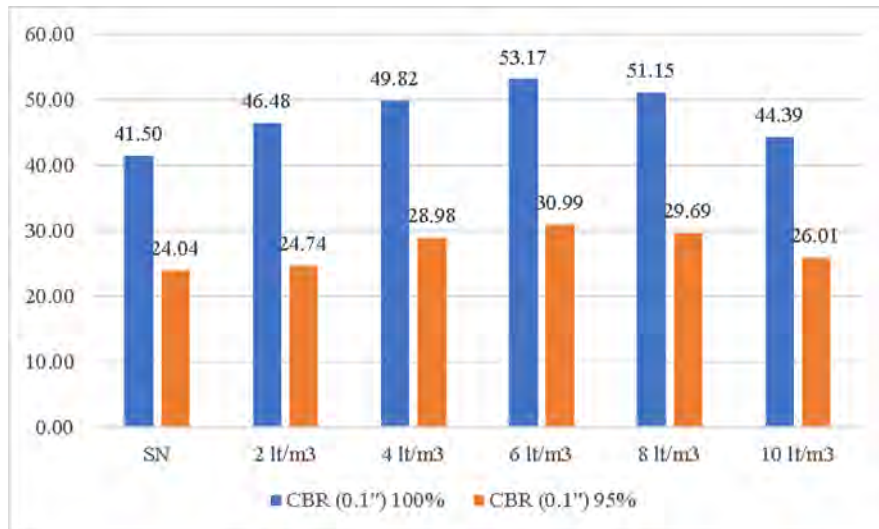


Figura 6.4: Resultados de ensayos CBR (0.1'') a 0 días de secado (Fuente: propia).

La Figura 6.5 detalla los valores CBR a 0.1'' de penetración para las energías de compactación al 100% y 95% de la máxima densidad seca y 7 días de secado.

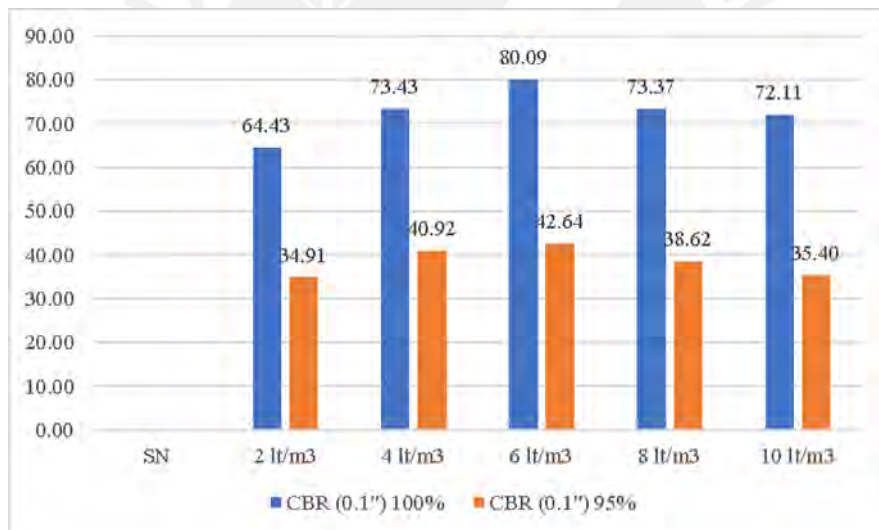


Figura 6.5: Resultados de ensayos CBR (0.1'') a 7 días de secado (Fuente: propia).

La Figura 6.6 detalla los valores CBR a 0.1'' de penetración, para las energías de compactación al 100% y 95% de la máxima densidad seca y 28 días de secado.



Figura 6.6: Resultados de ensayos CBR (0.1'') a 28 días de secado (Fuente: propia).

Los ensayos revelan un incremento tanto en el CBR debido al agregado del polímero y a los días de secado a los que sujeta. Los valores obtenidos se presentan al 100% y 95% de la máxima densidad seca y a una penetración del 0.1'' (de acuerdo con el Manual de Carreteras del MTC), los cuales pueden apreciarse en las Figura 6.7 y Figura 6.8.

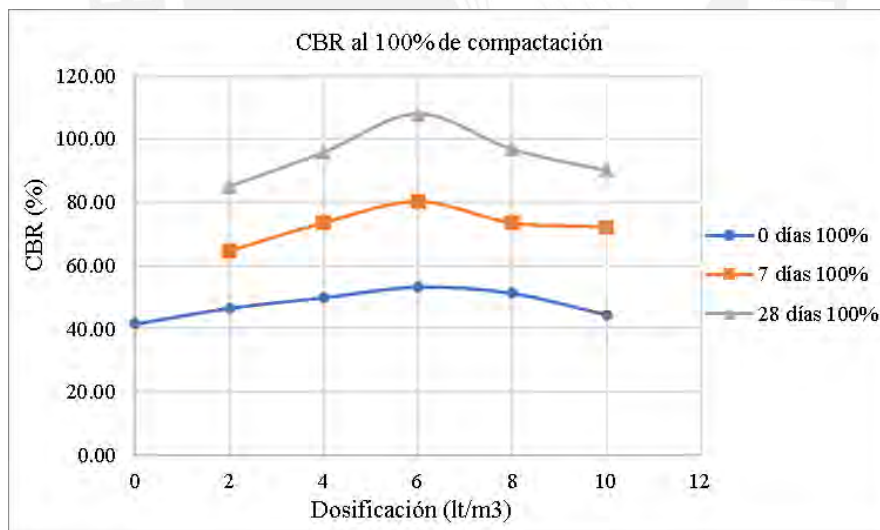


Figura 6.7: Resultados de ensayos CBR al 100% de compactación con diferentes días de secado (Fuente: propia).

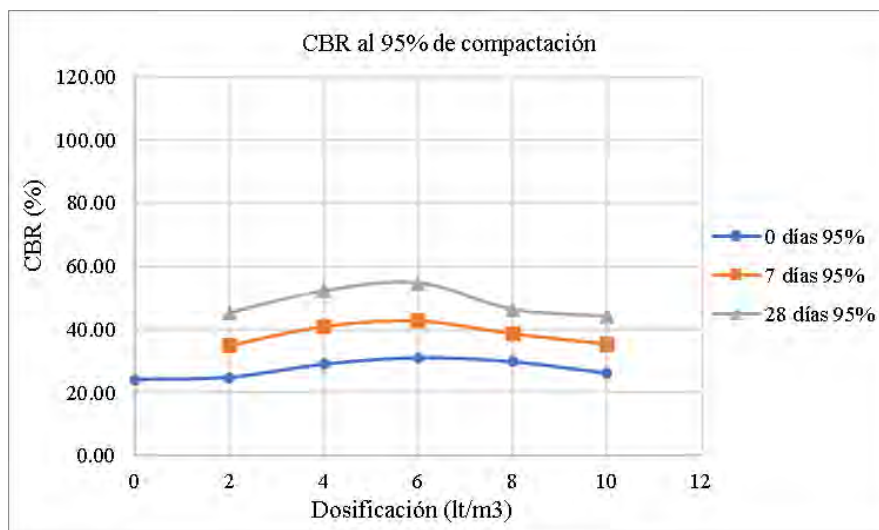


Figura 6.8: Resultados de ensayos CBR al 95% de compactación con diferentes días de secado (Fuente: propia).

Para presentar un mejor alcance de los resultados también se tiene la Tabla 6.8, derivada de las gráficas previamente señaladas. Cabe señalar que el Manual de ensayo de materiales del MTC explica que para pavimentos se toma en cuenta el valor obtenido a 0.1” de penetración.

Tabla 6.8:
Resumen de resultados CBR (0.1”) (Fuente: propia).

Muestras	CBR ₉₅			CBR ₁₀₀		
	0 días	7 días	28 días	0 días	7 días	28 días
SN	24.04	--	--	41.50	--	--
2 l/m ³	24.74	34.91	45.46	46.48	64.43	85.14
4 l/m ³	28.98	40.92	52.25	49.82	73.43	95.84
6 l/m ³	30.99	42.64	54.66	53.17	80.09	107.91
8 l/m ³	27.06	38.62	46.49	49.53	73.37	96.77
10 l/m ³	26.01	35.32	44.25	44.39	72.14	90.10

Los valores de CBR, tanto a 95% como a 100% de compactación, muestran un aumento progresivo conforme incrementa la dosificación de polímero hasta 6 l/m³. Dichos valores alcanzan un máximo de 54.66 (CBR₉₅) y 107.91 (CBR₁₀₀) a los 28 días de curado, lo que representa una mejora significativa frente al suelo natural (CBR₁₀₀ inicial de 41.5). Como se mencionó, la dosificación de 6 l/m³ se identifica como la óptima, ya que a partir de esa cantidad los incrementos en CBR son decrecientes, evidenciando un punto de

rendimiento máximo en la mejora mecánica del suelo.

El efecto del tiempo de curado es relevante, observándose un aumento constante en los valores de CBR desde 0 hasta 28 días, lo que indica una mejora en la resistencia progresiva debido al efecto del polímero.

6.3. Análisis económico

Posteriormente de haber obtenido los resultados para los valores CBR, se pudo apreciar que, a partir de la intervención del polímero, con la menor dosificación aplicada (2 l/m³), el suelo empieza a mostrar resultados favorables para ser empleado como vía no pavimentada. Es por ello que se procede a realizar una comparativa económica respecto a la aplicación de las dosificaciones.

En esta comparación se mide costo económico por metro cúbico (m³), siendo el costo por comparar el de la aplicación neta del aditivo al suelo a tratar. Se debe tener en cuenta que el balde de 5 galones de aditivo tuvo un precio de alrededor de 1300 soles, siendo el precio por galón de 260 soles, se procede a realizar la estimación del costo, considerando un desperdicio del 5%.

Tabla 6.9:

Comparación de resultados de análisis económico con valores CBR₉₅ (0.1") (Fuente: propia).

Dosificación	Cant. polímero (gal)	Costo (S./.)	CBR ₉₅	
			0 días	28 días
SN	0.00	0.00	24.04	--
2 l/m ³	0.53	144.25	24.74	45.46
4 l/m ³	1.06	288.51	28.98	52.25
6 l/m ³	1.59	432.76	30.99	54.66
8 l/m ³	2.11	577.01	27.06	46.49
10 l/m ³	2.64	721.27	26.01	44.25

El análisis empírico determina que al aplicarse las dosificaciones de 8 l/m³ y 10 l/m³ a 0 días de curado no se obtienen resultado económicos y técnicos, siendo estas propuestas las menos viables. Los resultados a 28 días de curado son más que aceptables, ya que el CBR

supera el valor de 40%, sin embargo, en el aspecto económico, los casos para 8 l/m³ y 10 l/m³ deben ser descartados, debido a la baja factibilidad económica. Puede comentarse que no existe una relación proporcional costo-beneficio, entre el gasto de la cantidad de polímero aplicado en el suelo y los resultados de resistencia esperados.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El presente estudio se ejecutó haciendo uso de un producto (aditivo) al cual denominamos polímero de estireno acrílico, el cual lleva el nombre debido a su composición por ácido acrílico y estireno. Su función principal es el de sellado e impermeabilización de superficies, control de polvo y erosión y fabricación de bloques y ladrillos. Sin embargo, según el tipo de suelo, la dosificación empleada y la energía de compactación, se proveen mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.
- En su estado natural el suelo presenta una clasificación SM (SUCS), posee un porcentaje de finos 30.26% y no presenta índice de plasticidad. Por otro lado, las muestras de suelo que fueron mezclados con polímero pueden clasificarse como SM (SUCS), presentan un porcentaje de finos que varía de 16% a 24%, y al igual que en su estado natural, no presentan índice de plasticidad. Al igual que el suelo natural, las muestras con polímero tampoco presentaron un cambio en su plasticidad, pero sí afectó en la cantidad de finos debido al efecto de aglomeración lo cual se reflejó en la disminución de estos.
- Los valores de límite líquido obtenidos para las muestras con aditivo presentan una leve reducción. Este hecho se debe a que la aplicación del aditivo deriva en la unión de las partículas finas. Por otro lado, se obtiene un valor nulo de límite plástico, lo cual corresponde a la naturaleza propia del suelo no cohesivo, el cual se compone de arena y limo.
- La gravedad específica de los suelos tratados con aditivo no presenta un aumento significativo, alcanzando un incremento máximo del 2.2% al agregar 6 l/m³ (2.785 g/cm³) respecto al valor en estado natural (2.725 g/cm³). Al unirse las partículas debido a la conglomeración, los espacios de vacío también quedan reducidos y por lo tanto la densidad de la muestra también crece. Sin embargo, estas variaciones son ínfimas y

coherentes con la naturaleza del ensayo, ya que la gravedad específica depende de la composición mineralógica del suelo, la cual no se ve alterada por la presencia del polímero. En ese sentido, aunque el ensayo es útil como parámetro de caracterización del material fino, su aporte específico al análisis del efecto del aditivo resulta limitado en este estudio.

- Una de las desventajas de trabajar con el suelo elegido en la investigación es la presencia de material limoso, la cual presenta poca o nula cohesión entre sus partículas. Dicha propiedad no permite una conglomeración efectiva a pesar de la interacción del polímero sobre el suelo. Es por ello que los resultados obtenidos para las propiedades índice han presentado variaciones mínimas entre las muestras tratadas con dosificaciones de aditivo.
- El ensayo Proctor modificado revela que para el suelo tratado el valor del parámetro de máxima densidad seca aumenta ligeramente al incrementar la dosis de polímero de estireno acrílico, llegando a un valor máximo en la muestra con el aditivo a 2 l/m^3 (2.303 g/cm^3). Sin embargo, la excepción fue el valor obtenido de la muestra de suelo a la que se agregó el aditivo a 2 l/m^3 (2.264 g/cm^3), resultado en el que el valor decrece un 0.7% respecto al hallado en su estado natural (2.279 g/cm^3). Se infiere que a medida que incrementa la dosis se requiere una menor energía de compactación para alcanzar una densidad específica. La humedad para alcanzar la máxima compactación se mantiene relativamente, pues presenta grandes variaciones entre los valores obtenidos, siendo el mayor valor obtenido el de la muestra de 4 l/m^3 (6.40%), siendo este valor mayor en un 4.9% al encontrado en su estado natural (6.10%). En general, puede deducirse que la humedad necesaria para obtener la máxima compactación se mantiene para todos los casos de muestras tratadas. Además, la poca variación entre los valores de máxima densidad seca se debe a la naturaleza granular del suelo.

- El Manual de Carreteras del MTC indica que los resultados CBR_{95} y CBR_{100} deben tomarse al 0.1” de penetración. Al evaluar el parámetro al 95% de la máxima densidad seca, el valor en estado natural y a 0 días de secado es de 24.04%. Al trabajar el suelo con el aditivo se alcanza un valor máximo de 30.99% (CBR_{95}) para la dosificación de 6 l/m^3 . De la misma forma, con dicha dosificación y a la misma compactación, para los días de secado de 7 y 28 se obtienen los valores máximos de 42.64% y 54.66% respectivamente. El aditivo tiene un efecto creciente en los valores de CBR_{95} al someterse a los diferentes de días de secado, alcanza el valor máximo al agregar el aditivo al 6 l/m^3 , y luego sufre una reducción para las dosificaciones de 8 l/m^3 y 10 l/m^3 . Al decrecer luego de haber alcanzado el máximo rendimiento, los valores siguen una tendencia constante, pues se aprecia poca diferencia entre los valores obtenidos a 8 l/m^3 y 10 l/m^3 de dosificación. En resumen, debido a la adición del aditivo, para llegar a cierta densidad, se necesita una energía de compactación menor a la requerida para el suelo en estado natural, lo cual se refleja en el aumento de densidad de las muestras. Este hecho también deriva en el incremento del CBR de las muestras tratadas, que al ser compactada a una misma energía se obtienen valores mayores al del suelo en estado natural.
- Agregado a lo comentado en la conclusión previa, los resultados obtenidos al 0.1” de penetración muestran una predisposición similar. Tanto en los valores de los CBR_{95} como en los CBR_{100} , se alcanza el umbral de máximo rendimiento del suelo al emplear la dosificación de 6 l/m^3 , para posteriormente decrecer y continuar con una tendencia constante.
- Tanto en las propiedades índice como en las propiedades mecánicas, la influencia del tiempo de curado es determinante. Esto debido a que mientras mayor sea el tiempo de curado, mayor es la acción aglomerante del aditivo sobre las partículas del suelo. Como se ha demostrado, hay un efecto creciente de los valores CBR, esto debido a dejar que el material cure al menos 7 días posterior a la compactación y previo a la sumersión. Por

otro lado, al no dejar el suficiente tiempo de curado, los valores de algunos parámetros, tales como límite líquido, gravedad específica, humedad óptima de compactación y máxima densidad seca, no tuvieron una variación notoria respecto a los valores obtenidos de la muestra de suelo en estado natural.

- Luego de examinar los resultados que se obtuvieron en nuestro caso y de los estudios anteriores acerca de la estabilización de suelos, se ve que hay una similitud en cómo aumenta el CBR al aplicar un agente químico, como los polímeros, y la duración del tiempo de curado que se le designa. Este comportamiento encaja con lo que menciona Mena, que tuvo un CBR de 41.2 % al usar 2 l/m³ de polímero Aggrebind, así como con los resultados de Radhia & Ahmed, quienes lograron subir hasta 106.94 % al usar polímeros UFR y SBR. Asimismo, cabe resaltar que las dosificaciones óptimas varían según el tipo de suelo ya que en la tesis de Mena se aplicó el mismo polímero, teniendo como resultado en nuestro estudio un valor óptimo de 6 l/m³. Por otro lado, Alzaidy mostró mejorías en el ensayo de resistencia a la compresión no confinada según el tiempo de curado al aplicar ESP y PWS, lo cual ocurrió de manera similar en nuestra situación al ensayar las muestras luego de 0, 7 y 28 días. Esto quiere decir que, el paso del tiempo previo a la ejecución del ensayo mejora el comportamiento de la mezcla del agente químico con el suelo, debido a que en este último estudio se usaron productos diferentes al empleado en esta investigación y se obtuvo una mejora creciente con mayor tiempo de curado. Sin embargo, se tendría que considerar en tomar en cuenta este procedimiento para evaluar cómo se comportan los demás agentes para estabilizar los suelos.
- De acuerdo con la categorización establecida por el MTC, de acuerdo con los resultados de los ensayos CBR el suelo es clasificado como una subrasante muy buena ($20\% \leq \text{CBR} < 30\%$) cuando se encuentra en su estado natural, compactada al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1". Al emplear el aditivo a 6 l/m³ el suelo alcanza la categoría de subrasante excelente ($30\% \leq \text{CBR}$). Por otro lado, los resultados al 100%

de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1” indican que el suelo funciona como subbase granular ($\text{CBR} \geq 40\%$), ya sea que se encuentre en estado natural o en cualquiera de las dosificaciones tratadas. En resumen, el suelo, con y sin aditivo, puede ser capaz de cumplir con la función de subrasante y subbase de acuerdo lo establecido en el Manual de Carreteras del MTC.

- El gasto de la aplicación del aditivo es proporcional a la dosificación aplicada. Tanto en los casos de 8 l/m³ y 10 l/m³ no se encuentra la viabilidad que cualquier proyecto busca. En el caso específico del suelo tratado en la presente investigación, el mayor beneficio técnico que otorga el polímero se da cuando se aplica la dosificación de 6 l/m³. Sin embargo, a pesar de ser la mejor opción técnica, en términos de rentabilidad, a largo plazo la opción de 2 l/m³ tiende a ser la más viable. Esto debido a que su aplicación es suficiente para que el suelo pueda alcanzar valores de CBR aceptables para subrasantes, subbases y bases para caminos de trocha afirmados. Por ende, técnica y económicamente, no es favorable aplicar dosificaciones mayores a la ya mencionada.
- A partir del desarrollo de la investigación, se concluye que el polímero de estireno acrílico representa una alternativa técnica y viable para la mejora de vías no pavimentadas, principalmente en zonas rurales del país. Esta propuesta responde de manera directa a la problemática expuesta en la justificación de la tesis: la baja capacidad de soporte y escasa durabilidad de los caminos rurales, factores que afectan negativamente la conectividad y el bienestar de la población. Los resultados obtenidos evidencian que es posible mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, lo cual sugiere que su implementación a escala real podría reducir los costos de mantenimiento y aumentar la vida útil de las vías. En ese sentido, este trabajo aporta no solo conocimiento técnico, sino también una herramienta práctica que puede contribuir al desarrollo sostenible y equitativo de diferentes regiones.

7.2. Recomendaciones

- Es recomendable realizar los ensayos para suelos cuyo contenido de finos supere el 40%, y que contengan material arcilloso. De esta manera se podrá concluir si el aglomeramiento de las partículas se desarrolla mejor en suelos cohesivos. Además, debe verificarse la naturaleza del tipo de suelo a tratar antes de realizar los ensayos.
- Para obtener las propiedades índices se realizaron diferentes concentraciones añadiendo la mezcla de agua y el polímero, para que luego de 24 horas poder realizar los ensayos respectivos. Si se quiere conocer la influencia del tiempo de curado en la aglomeración de las partículas de suelo para comprobar qué resultados pueden generarse en las propiedades índice, se aconseja dejar las muestras en bolsa por un periodo mínimo de 7 días y como máximo 28 días previo a realizar los ensayos.
- Para un mayor alcance de resultados puede realizarse los ensayos para dosificaciones mayores a 10 l/m³. De esta forma, puede obtenerse una curva más completa donde sea posible visualizar otros puntos de inflexión y valores máximos de los parámetros.
- Se recomienda realizar ensayos CBR en campo para poder comparar los resultados con los obtenidos en laboratorio, de esta manera puede verificar el grado de veracidad del ensayo. Además, es prudente realizar en laboratorio otros ensayos de resistencia para corroborar la eficiencia del aditivo, como los ensayos de compresión simple, corte directo y triaxial.
- Se espera que el presente estudio quede como precedente para nuevas investigaciones en la que pueda ahondarse en el estudio con el agregado de un segundo agente estabilizante, como es el caso de estabilizadores iónicos, enzimas y lignosulfonatos. De la misma forma, sería beneficioso realizar los ensayos de la aplicación del polímero actuante en la presente investigación con diferentes tipos de suelos y con mayor porcentaje de finos.
- Se debe tener en cuenta que, para considerar la funcionabilidad y fiabilidad del empleo

de la mezcla del suelo estabilizado como capa del pavimento o camino (subrasante, base o subbase) en zonas de tránsito masivo, tiene que realizarse otros ensayos y pruebas de carácter asfáltico e hidráulico.

- No es necesario seguir un tratamiento de curado continuo para las muestras de suelo. El suelo no adquirirá mejora alguna en sus propiedades, ya que se trata de un aditivo tipo acrílico sin presencia de cemento.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Abd, A. (2023). *Soil Stabilization Using Copolymers*.
www.concreteinternational.com/Ci/APRIL202341
- Aggrebind. (2020). *LA OPCIÓN MÁS INTELIGENTE*.
- Alzaidy, M. N. J. (2019). Experimental study for stabilizing clayey soil with eggshell powder and plastic wastes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(2).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022008>
- Angulo, D., & Rojas, H. (2016). *ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA. HH EL MILAGRO, 2016*.
- Ávila, A. (2017). *QUÍMICA DE LOS POLÍMEROS*.
- Bolander, P., & Yamada, A. (1999). *Dust Palliative Selection and Application Guide*.
- Darcy, S., Hosotte, P., Pequignot, J.-M., & Salvador, E. (2012). *Revestimientos con base acuosa basados en copolímeros acrílicos de estireno*.
- De La Cruz, L., & Salcedo, K. (2016). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS (Eco Road 2000) PARA PAVIMENTACIÓN EN PALIAN – HUANCAYO - JUNIN*.
- de Lourdes, P. M. (2016, January). *APLICACIONES DE LOS POLIMEROS*. BOLETÍN CIENTÍFICO PREPARATORIA NO. 3 CON-CIENCIA No. 5.
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m8.html>
- Federal Highway Administration. (2016, August 3). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/app5.cfm>
- Federal Highway Administration. (2017, June 27). *Geotechnical Aspects of Pavements Reference Manual*.
<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/01.cfm#f001>

- Georgees, R. N., Hassan, R. A., Evans, R. P., & Jegatheesan, P. (2015). Effect of the use of a polymeric stabilizing additive on unconfined compressive strength of soils. *Transportation Research Record*, 2473, 200–208. <https://doi.org/10.3141/2473-23>
- López, T., Hernández, J. B., Horta, J., Coronado, A., & Castaño, M. (2010). POLÍMEROS PARA LA ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE ARCILLAS EXPANSIVAS. In *Rev. Iberoam. Polím* (Vol. 11, Issue 3).
- Mena, R. (2018). *Mejoramiento del suelo de una vía no pavimentada adicionando estabilizador y sellante en la Ca. Morales Bermúdez, Provincia de Huaral, Lima, 2018.*
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública en Carreteras.* 11–24. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2004). *Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS.* www.mtc.gob.pe
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *GLOSARIO DE TÉRMINOS DE USO FRECUENTES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Programa Multianual de Inversiones 2021-2023.* www.gob.pe/mtc
- Onyelowe, K. (2012). SOIL STABILIZATION TECHNIQUES AND PROCEDURES IN

- THE DEVELOPING COUNTRIES-NIGERIA. *Global Jour. of Engg. & Tech*, 5(1), 65–69. www.lime.org
- Pérez, N., Pérez, A., & Garnica, P. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con un polímero*. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt619.pdf>
- Peruano, E. (2019). Carreteras para el desarrollo. *Tecnología y Construcción*, 25(3).
- Provías Nacional. (2020). *MEMORIA ANUAL 2019*. <https://doi.org/10.01.2019>
- Radhia, M., & Ahmed, L. (2019). *Sandy Soil Stabilization with Polymer*.
- Rajoria, V., & Kaur, S. (2015). *EFFECT OF POLYMER STABILIZER ON THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF BLACK COTTON SOIL*.
- Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 43–67. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
- Tingle, J. S., Newman, J. K., Larson, S. L., Weiss, C. A., & Rushing, J. F. (2007). Stabilization mechanisms of nontraditional additives. *Transportation Research Record*, 2(1989), 59–67. <https://doi.org/10.3141/1989-49>
- Ulate, A. (2017). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES EN CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, EMPLEANDO PRODUCTOS NO TRADICIONALES. *Boletín Técnico PITRA-LanammeUCR*, 8(TRAMOS DE PRUEBA EN EL CAMINO C1-07-016 PIEDRAS NEGRAS-EL PITO JARIS, CANTÓN DE MORA, SAN JOSÉ.).
- Vargas, W. (2002). Minerales Arcillosos, consistencia y plasticidad. In *Curso Mecánica de Suelos I*.

ANEXOS

ANEXO 1: DOSIFICACIONES

ANEXO 1.1: Mezclas para ensayos de Proctor modificado

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		29.88
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		0.0		0.00
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% Humedad final	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	0.00		120.00		120.00
	0.00		240.00		240.00
	0.00		360.00		360.00
	0.00		480.00		480.00
	0.00		600.00		600.00

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		44.78
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		2.0		2000.00
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
2.2	Pesos de la muestras a usar en gramos	2.3	% Humedad final	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	5.27		114.73		120.00
	5.27		234.73		240.00
	5.27		354.73		360.00
	5.27		474.73		480.00
	5.27		594.73		600.00

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		45.00
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		4.0		4000.00
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	10.53		109.47		120.00
	10.53		229.47		240.00
	10.53		349.47		360.00
	10.53		469.47		480.00
	10.53		589.47		600.00

Información General				ECH	
	úmero de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		45.00
	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		6.0		6000.00
	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	15.80		104.20		120.00
	15.80		224.20		240.00
	15.80		344.20		360.00
	15.80		464.20		480.00
	15.80		584.20		600.00

Información General				ECH	
	úmero de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		45.00
	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		8.0		8000.00
	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	21.06		98.94		120.00
	21.06		218.94		240.00
	21.06		338.94		360.00
	21.06		458.94		480.00
	21.06		578.94		600.00

Información General				ECH	
	úmero de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		45.00
	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		10.0		10000.00
	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		2.00%		120.00
	6000.00		4.00%		240.00
	6000.00		6.00%		360.00
	6000.00		8.00%		480.00
	6000.00		10.00%		600.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	26.33		93.67		120.00
	26.33		213.67		240.00
	26.33		333.67		360.00
	26.33		453.67		480.00
	26.33		573.67		600.00

ANEXO 1.2: Mezclas para ensayos de propiedades índice y C.B.R.

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca		29.88
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
	Suelto		2279.00		2279000.00
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
	Aggrebind-W		0.0		0.00
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
	6000.00		0.00		0.00
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
	6000.00		6.10%		366.00
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
	0.00		366.00		366.00
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA					
1	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo
	10.00%		329.40		36.60
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O					
1.3	AGB en gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos
	0.00		329.40		329.40

Información General					ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200	
			Jicamarca		44.78	
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos	
	Suelto		2264.00		2264000.00	
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3	
	Aggrebind-W		2.0		2000.00	
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos	
	6000.00		0.00		0.00	
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos	
	6000.00		6.25%		375.00	
Mezcla de AGB/H2O para la base						
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la	
	5.30		369.70		375.00	
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA						
1	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo	
	10.00%		332.73		36.97	
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O						
1.3	AGB en gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos	
	5.30		332.73		338.03	

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
		Jicamarca		45.00	
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
Suelto		2279.00		2279000.00	
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
Aggrebind-W		4.0		4000.00	
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
6000.00		0.00		0.00	
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
6000.00		6.40%		384.00	
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
10.53		373.47		384.00	
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA					
1	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo
10.00%		336.12		37.35	
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O					
1.3	AGB en gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos
10.53		336.12		346.65	

Información General				ECH	
1	Número de muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
		Jicamarca		45.92	
1.3	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
Suelto		2288.00		2288000.00	
1.6	Nombre del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
Aggrebind-W		6.0		6000.00	
1.9	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
6000.00		0.00		0.00	
2.2	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
6000.00		6.00%		360.00	
Mezcla de AGB/H2O para la base					
1	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
15.73		344.27		360.00	
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA					
1	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo
10.00%		309.84		34.43	
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O					
1.3	AGB en gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos
15.73		309.84		325.57	

Información General				ECH	
	muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca	45.78	
	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
Suelto		2297.00		2297000.00	
	e del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
Aggrebind-W		8.0		8000.00	
	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
6000.00		0.00		0.00	
	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
6000.00		6.00%		360.00	
Mezcla de AGB/H2O para la base					
	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
20.90		339.10		360.00	
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA					
	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo
10.00%		305.19		33.91	
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O					
	gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos
20.90		305.19		326.09	

Información General				ECH	
	muestra	1.1	Origen de la muestra	1.2	%que PM 200
			Jicamarca	45.53	
	Suelo suelto o compactado	1.4	Peso de 1M3 del suelo en kilos (Densidad	1.5	Peso de 1M3 del suelo en gramos
Suelto		2303.00		2303000.00	
	e del	1.7	Litros de AGB por M3	1.8	Gramos de AGB por M3
Aggrebind-W		10.0		10000.00	
	Peso de la muestra húmeda en gramos	2	% Humedad inicial	2.1	Peso de la humedad inicial en gramos
6000.00		0.00		0.00	
	Peso de la muestra a usar en gramos	2.3	% del OMC	2.4	Total líquido para la muestra en gramos
6000.00		6.05%		363.00	
Mezcla de AGB/H2O para la base					
	Total de AGB en gramos para la	1.1	Total de H2O en gramos para la	1.2	Total de líquido en gramos para la
26.05		336.95		363.00	
PASO 1 - APLICACIÓN DE SOLO AGUA					
	% solo H2O para humedecer el suelo a usar	1.1	Total de H2O en gramos, a dejar para mezclar para AGB	1.2	Total de solo agua a usar para humedecer el suelo
10.00%		303.25		33.69	
PASO 2 - APLICACIÓN DE LA DILUCIÓN DE AGB + H2O					
	gramos	1.4	H2O en gramos	1.5	Total líquido en gramos
26.05		303.25		329.31	

ANEXO 2: ENSAYOS DE LABORATORIO

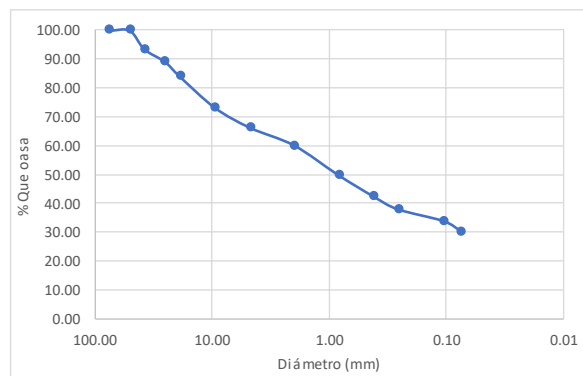
ANEXO 2.1: Análisis granulométrico

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural
Profundidad: 1.50 m

Inicial	5000.00
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	2915.00
Peso > #10	2085.00
Bandeja N°	----
Seco > #10	2012.00

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	324.00	6.48	6.48	93.52
1"	218.50	4.37	10.85	89.15
3/4"	253.50	5.07	15.92	84.08
3/8"	545.00	10.90	26.82	73.18
#4	348.50	6.97	33.79	66.21
#10	308.00	6.16	39.95	60.05
Bandeja < #10	14.50			
Peso < #10	195.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	109.66			
#20	33.56	10.28	50.23	49.77
#40	24.35	7.46	57.70	42.30
#60	14.50	4.44	62.14	37.86
#140	13.37	4.10	66.24	33.76
#200	11.43	3.50	69.74	30.26
Bandeja < #200	12.45	3.82	73.56	--

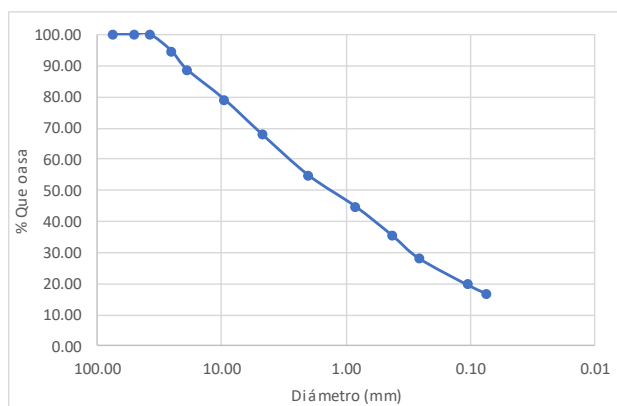


ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural + 2 lt/m3 AGB
Profundidad: 1.50 m

Inicial	6582.00
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	3557.00
Peso > #10	3025.00
Bandeja N°	----
Seco > #10	2978.73

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	354.12	5.38	5.38	94.62
3/4"	391.23	5.94	11.32	88.68
3/8"	630.81	9.58	20.91	79.09
#4	730.39	11.10	32.00	68.00
#10	872.18	13.25	45.26	54.74
Bandeja < #10	0.00			
Peso < #10	200.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	138.55			
#20	36.39	9.96	55.22	44.78
#40	34.63	9.48	64.70	35.30
#60	26.02	7.12	71.82	28.18
#140	31.08	8.51	80.32	19.68
#200	10.19	2.79	83.11	16.89
Bandeja < #200	0.24	0.07	83.18	--

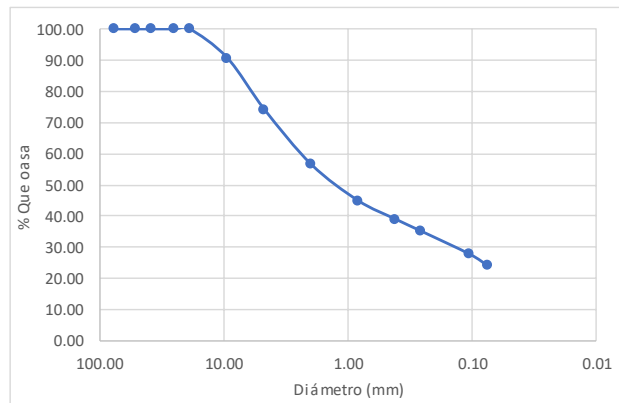


ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB
Profundidad: 1.50 m

Inicial	5000.00
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	2485.50
Peso > #10	2514.50
Bandeja N°	----
Seco > #10	2192.00

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	460.00	9.20	9.20	90.80
#4	831.50	16.63	25.83	74.17
#10	879.00	17.58	43.41	56.59
Bandeja < #10	21.50			
Peso < #10	200.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	118.36			
#20	41.27	11.59	55.00	45.00
#40	21.18	5.95	60.95	39.05
#60	13.80	3.88	64.82	35.18
#140	26.22	7.36	72.18	27.82
#200	13.63	3.83	76.01	23.99
Bandeja < #200	2.26	0.63	76.65	--

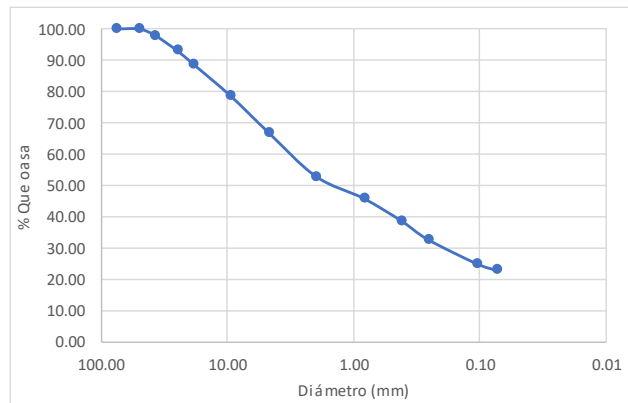


ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural + 6 lt/m3 AGB
Profundidad: 1.50 m

Inicial	5007.00
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	2509.00
Peso > #10	2495.00
Bandeja N°	----
Seco > #10	2387.00

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	98.00	1.96	1.96	98.04
1"	244.00	4.87	6.83	93.17
3/4"	209.00	4.17	11.00	89.00
3/8"	517.00	10.33	21.33	78.67
#4	586.00	11.70	33.03	66.97
#10	703.00	14.04	47.07	52.93
Bandeja < #10	30.00			
Peso < #10	200.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	115.11			
#20	26.78	7.01	54.08	45.92
#40	27.51	7.20	61.28	38.72
#60	22.60	5.91	67.19	32.81
#140	29.80	7.80	74.99	25.01
#200	7.84	2.05	77.04	22.96
Bandeja < #200	0.58	0.15	77.19	--

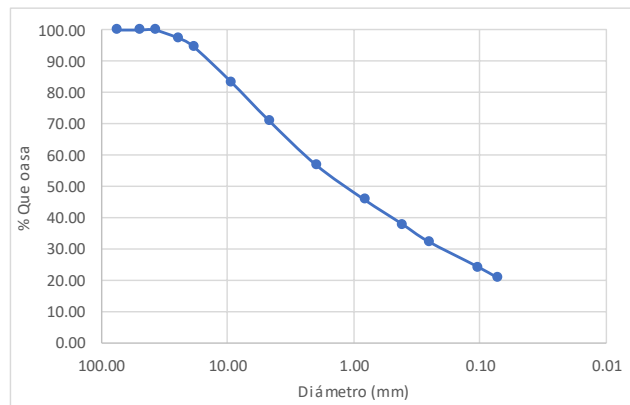


ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural + 8 lt/m3 AGB
Profundidad: 1.50 m

Inicial	5000.00
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	2498.00
Peso > #10	2507.00
Bandeja N°	----
Seco > #10	2180.00

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	119.50	2.39	2.39	97.61
3/4"	134.00	2.68	5.07	94.93
3/8"	569.50	11.39	16.46	83.54
#4	622.50	12.45	28.91	71.09
#10	718.00	14.36	43.27	56.73
Bandeja < #10	16.50			
Peso < #10	200.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	128.46			
#20	38.83	10.95	54.22	45.78
#40	27.91	7.87	62.09	37.91
#60	19.91	5.61	67.71	32.29
#140	28.65	8.08	75.78	24.22
#200	11.91	3.36	79.14	20.86
Bandeja < #200	1.25	0.35	79.50	--

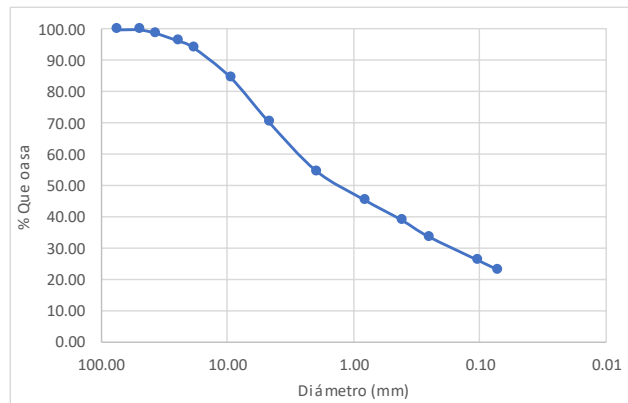


ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Ensayo: Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado
Referencia: N.T.P. 339.128 / ASTM D-422
Solicitante: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
Tesis: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
Lugar: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
Muestra: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB
Profundidad: 1.50 m

Inicial	5003.50
SEP. #10	SÍ
Peso < #10	2497.25
Peso > #10	2504.75
Bandeja N°	----
Seco > #10	2289.50

Tamiz ASTM	Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Que pasa (%)
3"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	49.00	0.98	0.98	99.02
1"	122.00	2.44	3.42	96.58
3/4"	104.50	2.09	5.51	94.49
3/8"	488.50	9.76	15.27	84.73
#4	708.75	14.17	29.43	70.57
#10	791.00	15.81	45.24	54.76
Bandeja < #10	25.75			
Peso < #10	200.00			
Bandeja N°	----			
Peso seco < #10	117.75			
#20	34.03	9.23	54.47	45.53
#40	24.35	6.60	61.08	38.92
#60	19.20	5.21	66.28	33.72
#140	28.01	7.60	73.88	26.12
#200	10.74	2.91	76.79	23.21
Bandeja < #200	1.42	0.39	77.18	--



ANEXO 2.2: Contenido de humedad

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad

REFERENCIA: N.T.P. 339.127 / ASTM D-2216

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD: SUELO NATURAL

N° Ensayo	1	2	3
N° Cápsula	35	76	116
Peso cápsula	28.40	28.70	24.94
Cáp.+suelo húme	209.88	214.06	188.76
Cáp.+suelo seco	207.28	211.39	186.45
Humedad	1.45%	1.46%	1.43%

N° Ensayo	1	2	3
ω (%)	1.45%	1.46%	1.43%
ω_{prom} (%)	1.45%		

ANEXO 2.3: Límites de Atterberg

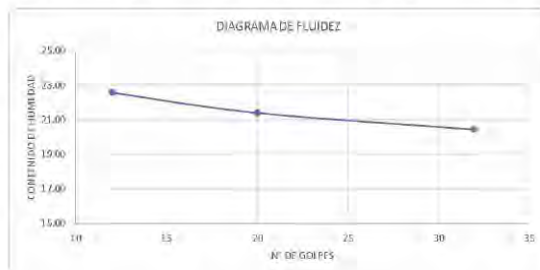
TESIS:	"Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
ENSAYO:	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
REFERENCIA:	N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318
SOLICITANTE:	Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
LUGAR:	Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.
MUESTRA:	Suelo natural
PROFUNDIDAD:	1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	121	93	44
Peso cap.	23.89	28.14	28.46
C+suelo H.	42.10	41.53	44.75
C+suelo S.	39.01	39.17	41.75
N° golpes	32	20	12
Agua	3.09	2.36	3.00
P.s. seco	15.12	11.03	13.29
w (%)	20.44	21.40	22.57

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	21.00	----
Índice de plasticidad		----

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

REFERENCIA: N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 2 LT/M3

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	115	263	136
Peso cap.	29.16	24.11	31.28
C+suelo H.	45.95	48.57	47.91
C+suelo S.	43.70	45.11	45.45
N° golpes	40	25	17
Agua	2.25	3.46	2.46
P.s. seco	14.54	21.00	14.17
w (%)	15.47	16.48	17.36

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	16.5	----
Índice de plasticidad		----

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

REFERENCIA: N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB

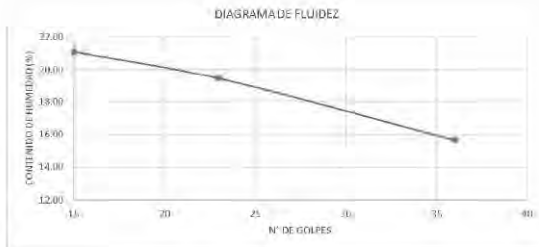
PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 4 LT/M3

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	76	44	85
Peso cap.	28.70	28.46	28.48
C+suelo H.	44.03	45.05	46.33
C+suelo S.	41.95	42.35	43.22
N° golpes	36	23	15
Agua	2.08	2.70	3.11
P.s. seco	13.25	13.89	14.74
w (%)	15.66	19.44	21.10

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	19.0	----
Índice de plasticidad		----

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

REFERENCIA: N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 6 LT/M3

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	71	89	108
Peso cap.	29.53	29.98	28.58
C+suelo H.	43.12	53.71	49.77
C+suelo S.	40.92	50.44	47.13
N° golpes	15	26	33
Agua	2.20	3.27	2.64
P.s. seco	11.39	20.46	18.55
w (%)	19.32	15.98	14.23

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	16.5	----
Índice de plasticidad		----

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

REFERENCIA: N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m³ AGB

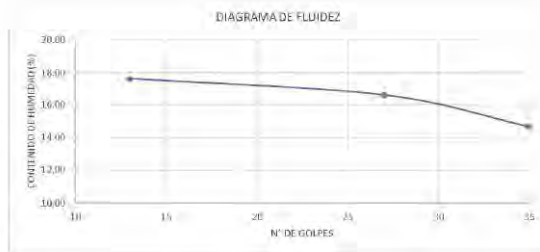
PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 8 LT/M3

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	116	115	263
Peso cap.	24.94	29.16	24.11
C+suelo H.	44.50	42.45	41.23
C+suelo S.	42.00	40.56	38.67
N° golpes	35	27	13
Agua	2.50	1.89	2.56
P.s. seco	17.06	11.40	14.56
w (%)	14.65	16.58	17.58

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	17.0	---
Índice de plasticidad		---

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

REFERENCIA: N.T.P. 339.129 / ASTM D-4318

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 10 LT/M³

Temperatura de secado:	60°
Material:	Que pasa la malla #40
Agua usada:	Potable
Tiempo de secado:	24 h

LÍMITE LÍQUIDO			
Ensayo N°	1	2	3
N° Cápsula	98	85	44
Peso cap.	25.17	28.48	28.46
C+suelo H.	44.18	42.75	40.54
C+suelo S.	41.65	40.61	38.59
N° golpes	30	20	12
Agua	2.53	2.14	1.95
P.s. seco	16.48	12.13	10.13
w (%)	15.35	17.64	19.25

LÍMITE PLÁSTICO	
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--



	Límite líquido	Límite plástico
Valor del límite	16.5	---
Índice de plasticidad		---

ANEXO 2.4: Gravedad específica

TESIS:	"Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
ENSAYO:	Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua
REFERENCIA:	N.T.P. 339.131 / ASTM D-854
SOLICITANTE:	Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
LUGAR:	Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chacla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.
MUESTRA:	Suelo natural
PROFUNDIDAD:	1.50 m

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA: SUELO NATURAL

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		4	9
Temperatura	(C°)	20.2	20.2
Ws	(gr)	40.07	40.03
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	381.42	377.64
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	356.06	352.29
Gs = aWs / (Ws+W1+W2)	(gr/cm3)	2.72	2.73

Gravedad específica	(gr/cm3)	2.725
---------------------	----------	-------

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

REFERENCIA: N.T.P. 339.131 / ASTM D-854

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA: SUELO NATURAL + 2 LT/M3

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		8	9
Temperatura	(C°)	24.7	24.7
Ws	(gr)	40.00	40.00
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	390.48	377.46
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	365.00	351.86
Gs = aWs / (Ws+W1+W2)	(gr/cm3)	2.75	2.78
Gravedad específica	(gr/cm3)		2.766

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

REFERENCIA: N.T.P. 339.131 / ASTM D-854

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 4 LT/M3

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		8	9
Temperatura	(C°)	24.3	24.3
Ws	(gr)	40.00	40.00
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	386.86	378.84
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	361.42	353.29
$G_s = aW_s / (W_s + W_1 + W_2)$	(gr/cm3)	2.75	2.77
Gravedad específica	(gr/cm3)	2.758	

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

REFERENCIA: N.T.P. 339.131 / ASTM D-854

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 6 LT/M3

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		5	6
Temperatura	(C°)	26.0	26.0
Ws	(gr)	40.03	40.02
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	373.47	368.99
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	347.78	343.37
$G_s = aWs / (Ws+W1+W2)$	(gr/cm3)	2.79	2.78
Gravedad específica	(gr/cm3)	2.785	

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

REFERENCIA: N.T.P. 339.131 / ASTM D-854

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 8 LT/M3

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		4	8
Temperatura	(C°)	22.2	22.2
Ws	(gr)	40.03	40.02
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	384.14	378.24
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	358.74	352.79
Gs = aWs / (Ws+W1+W2)	(gr/cm3)	2.74	2.75
Gravedad específica	(gr/cm3)	2.741	

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua

REFERENCIA: N.T.P. 339.131 / ASTM D-854

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG: SUELO NATURAL + 10 LT/M³

Material: Lo que pasa por la malla #10

Ensayo N°		1	2
Picnómetro N°		9	8
Temperatura	(C°)	21.8	21.8
Ws	(gr)	40.02	40.02
W1 = Picnómetro + agua + suelo	(gr)	382.78	377.94
W2 = Picnómetro + agua	(gr)	357.40	352.54
Gs = aWs / (Ws+W1+W2)	(gr/cm ³)	2.73	2.74
Gravedad específica	(gr/cm ³)		2.735

ANEXO 2.5: Proctor modificado

TESIS:	"Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"
ENSAYO:	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)
REFERENCIA:	N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253
SOLICITANTE:	Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra
LUGAR:	Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.
MUESTRA:	Suelo natural
PROFUNDIDAD:	1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

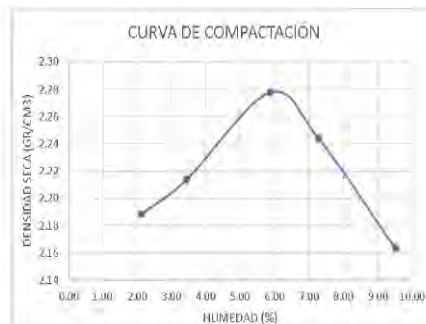
Peso del molde:	2720.00	Diámetro del molde:	15.20
Altura del molde:	11.50	Volumen del molde:	2086.77

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7384.00	7499.00	7751.40	7744.00	7664.50
Peso suelo húmedo	4664.00	4779.00	5031.40	5024.00	4944.50
Densidad húmedo	2.24	2.29	2.41	2.41	2.37
Densidad seca 1	2.19	2.23	2.28	2.24	2.16
Densidad seca 2	2.19	2.20	2.27	2.25	2.17
Densidad seca promedio	2.19	2.21	2.28	2.24	2.16

Antes de compactar					
Cápsula N°	C77	B34	C23	C15	C75
Peso cápsula	137.81	218.52	122.68	122.47	138.51
Peso cap. + suelo húmedo	390.00	461.00	379.00	384.00	388.50
Peso cap. + suelo seco	384.57	454.64	365.16	366.08	366.22
Porcentaje de humedad	2.20	2.69	5.71	7.36	9.78

Después de compactar					
Cápsula N°	C79	B35	C21	C39	C14
Peso cápsula	137.50	185.01	228.28	144.67	110.97
Peso cap. + suelo húmedo	388.50	438.90	487.50	395.50	373.00
Peso cap. + suelo seco	383.43	428.64	472.77	378.65	350.81
Porcentaje de humedad	2.06	4.21	6.02	7.20	9.25

Porcentaje de humedad promedio	2.13	3.45	5.87	7.28	9.52
--------------------------------	------	------	------	------	------



wop (%):	6.10
ydmax (gr/cm3):	2.279

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

REFERENCIA: N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 2 LT/M3

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

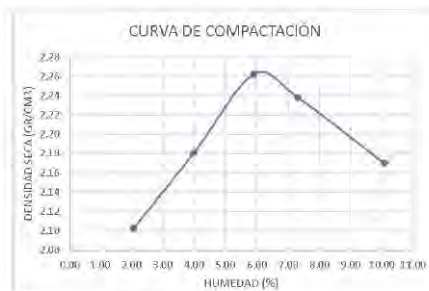
Peso del molde: 2714.00 Diámetro del molde: 15.23
 Altura del molde: 11.64 Volumen del molde: 2120.52

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7265.00	7522.00	7794.00	7807.00	7779.00
Peso suelo húmedo	4551.00	4808.00	5080.00	5093.00	5065.00
Densidad húmedo	2.15	2.27	2.40	2.40	2.39
Densidad seca 1	2.11	2.18	2.26	2.24	2.17
Densidad seca 2	2.10	2.18	2.27	2.23	2.17
Densidad seca promedio	2.10	2.18	2.26	2.24	2.17

Antes de compactar					
Cápsula N°	C5	C99	C47	C89	C83
Peso cápsula	139.29	142.72	139.86	137.25	146.10
Peso cap. + suelo húmedo	386.32	410.58	372.92	408.81	395.47
Peso cap. + suelo seco	381.65	400.46	359.58	390.74	372.29
Porcentaje de humedad	1.93	3.93	6.07	7.13	10.25

Después de compactar					
Cápsula N°	C75	C39	C49	C7	C16
Peso cápsula	143.65	145.62	141.67	142.63	140.52
Peso cap. + suelo húmedo	795.71	811.86	779.56	522.53	649.21
Peso cap. + suelo seco	781.59	785.90	744.88	496.00	603.30
Porcentaje de humedad	2.21	4.05	5.75	7.51	9.92

Porcentaje de humedad promedio	2.07	3.99	5.91	7.32	10.08
--------------------------------	------	------	------	------	-------



wop (%):	6.25
ydmax (gr/cm ³):	2.264

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

REFERENCIA: N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 4 LT/M3

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

Peso del molde: 2714.00 Diámetro del molde: 15.23
 Altura del molde: 11.64 Volumen del molde: 2120.52

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7306.00	7606.00	7785.00	7861.00	7742.00
Peso suelo húmedo	4592.00	4892.00	5071.00	5147.00	5028.00
Densidad húmedo	2.17	2.31	2.39	2.43	2.37
Densidad seca 1	2.13	2.21	2.25	2.28	2.13
Densidad seca 2	2.13	2.22	2.27	2.27	2.14
Densidad seca promedio	2.13	2.22	2.26	2.28	2.14

Antes de compactar					
Cápsula N°	C89	C49	C39	C56	C46
Peso cápsula	137.25	141.67	145.62	143.79	144.40
Peso cap. + suelo húmedo	355.28	416.14	429.18	454.31	395.47
Peso cap. + suelo seco	351.70	405.15	414.73	435.40	370.29
Porcentaje de humedad	1.67	4.17	6.07	6.48	11.15

Después de compactar					
Cápsula N°	C7	C47	C99	C43	C5
Peso cápsula	143.64	139.86	141.72	139.86	146.47
Peso cap. + suelo húmedo	743.02	906.70	664.73	824.48	784.37
Peso cap. + suelo seco	732.12	876.46	638.53	781.03	722.98
Porcentaje de humedad	1.85	4.11	5.27	6.78	10.65

Porcentaje de humedad promedio	1.76	4.14	5.67	6.63	10.90
--------------------------------	------	------	------	------	-------



wop (%):	6.40
ydmax (gr/cm ³):	2.279

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

REFERENCIA: N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 6 LT/M3

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

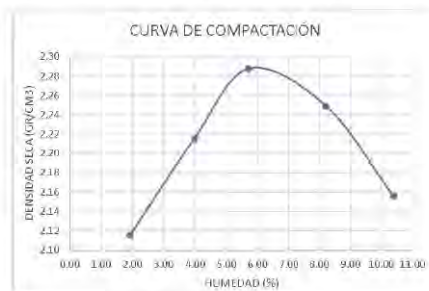
Peso del molde: 2714.00 Diámetro del molde: 15.23
 Altura del molde: 11.64 Volumen del molde: 2120.52

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7285.50	7600.00	7843.00	7876.00	7760.50
Peso suelo húmedo	4571.50	4886.00	5129.00	5162.00	5046.50
Densidad húmedo	2.16	2.30	2.42	2.43	2.38
Densidad seca 1	2.12	2.21	2.28	2.25	2.15
Densidad seca 2	2.11	2.22	2.29	2.25	2.16
Densidad seca promedio	2.12	2.22	2.29	2.25	2.16

Antes de compactar					
Cápsula N°	C47	C83	C31	C89	C43
Peso cápsula	139.86	146.10	139.49	137.25	139.86
Peso cap. + suelo húmedo	370.80	402.80	397.74	319.42	395.47
Peso cap. + suelo seco	366.68	392.77	382.13	305.32	371.29
Porcentaje de humedad	1.82	4.07	6.07	8.39	10.45

Después de compactar					
Cápsula N°	C31	C32	C7	C83	C56
Peso cápsula	139.49	139.49	143.63	146.10	143.79
Peso cap. + suelo húmedo	769.37	807.42	477.73	1079.54	716.79
Peso cap. + suelo seco	756.86	782.19	460.62	1009.84	663.14
Porcentaje de humedad	2.03	3.93	5.40	8.07	10.33

Porcentaje de humedad promedio	1.92	4.00	5.73	8.23	10.39
--------------------------------	------	------	------	------	-------



wop (%):	6.00
ydmax (gr/cm3):	2.288

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

REFERENCIA: N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 8 LT/M3

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

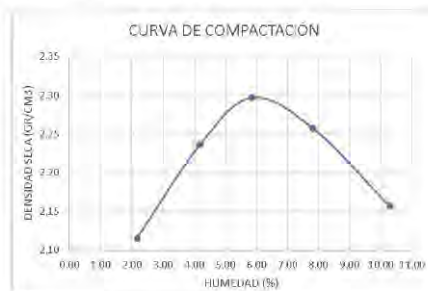
Peso del molde: 2714.00 Diámetro del molde: 15.23
 Altura del molde: 11.64 Volumen del molde: 2120.52

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7297.00	7654.00	7870.00	7876.00	7758.00
Peso suelo húmedo	4583.00	4940.00	5156.00	5162.00	5044.00
Densidad húmedo	2.16	2.33	2.43	2.43	2.38
Densidad seca 1	2.11	2.24	2.29	2.26	2.14
Densidad seca 2	2.12	2.24	2.30	2.26	2.17
Densidad seca promedio	2.12	2.24	2.30	2.26	2.16

Antes de compactar					
Cápsula N°	C27	C43	C39	C49	C75
Peso cápsula	142.50	139.86	145.62	141.67	138.50
Peso cap. + suelo húmedo	375.88	347.13	356.17	423.58	368.32
Peso cap. + suelo seco	370.34	338.79	345.12	403.30	345.63
Porcentaje de humedad	2.43	4.19	6.07	7.75	10.95

Después de compactar					
Cápsula N°	C77	C56	C99	C47	C79
Peso cápsula	137.81	143.79	142.72	139.86	137.50
Peso cap. + suelo húmedo	586.37	557.77	562.36	769.33	631.62
Peso cap. + suelo seco	577.92	541.18	540.05	723.19	588.30
Porcentaje de humedad	1.92	4.17	5.61	7.91	9.61

Porcentaje de humedad promedio	2.18	4.18	5.84	7.83	10.28
--------------------------------	------	------	------	------	-------



wop (%):	6.00
ydmax (gr/cm ³):	2.297

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

REFERENCIA: N.T.P. 339.137 / ASTM D-4253

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 10 LT/M3

Preparación:	Natural
Tipo:	Modificado
Método:	C

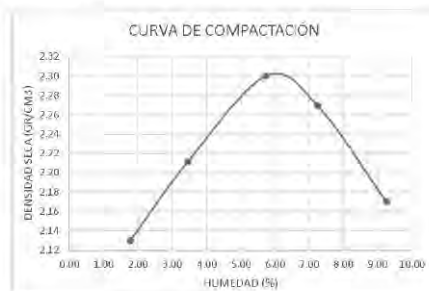
Peso del molde: 2714.00 Diámetro del molde: 15.23
 Altura del molde: 11.64 Volumen del molde: 2120.52

Punto	I	II	III	IV	V
Peso molde + suelo húmedo	7310.00	7565.00	7870.00	7876.00	7742.00
Peso suelo húmedo	4596.00	4851.00	5156.00	5162.00	5028.00
Densidad húmedo	2.17	2.29	2.43	2.43	2.37
Densidad seca 1	2.13	2.21	2.30	2.27	2.17
Densidad seca 2	2.13	2.21	2.30	2.27	2.17
Densidad seca promedio	2.13	2.21	2.30	2.27	2.17

Antes de compactar					
Cápsula N°	C24	C46	C36	C16	C15
Peso cápsula	143.49	144.40	146.47	140.52	122.50
Peso cap. + suelo húmedo	390.56	381.59	373.33	420.61	412.76
Peso cap. + suelo seco	386.46	373.64	360.71	401.52	387.77
Porcentaje de humedad	1.69	3.47	5.89	7.31	9.42

Después de compactar					
Cápsula N°	C99	C22	C5	C75	C79
Peso cápsula	141.67	110.20	139.29	138.61	137.58
Peso cap. + suelo húmedo	586.52	571.39	600.17	1356.48	620.45
Peso cap. + suelo seco	578.38	556.04	575.93	1274.73	580.17
Porcentaje de humedad	1.86	3.44	5.55	7.20	9.10

Porcentaje de humedad promedio	1.78	3.46	5.72	7.25	9.26
--------------------------------	------	------	------	------	------



wop (%):	6.05
ydm (gr/cm³):	2.303

ANEXO 2.6: Ensayo C.B.R.

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 0 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL

Tipo de Proctor:	MODIFICADO	yd max (gr/cm ³):	2.279
Método:	C	Humedad óptima (%):	6.10

DATOS DE LOS ESPÉCIMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	1	2	3
Peso molde	4208.00	4209.50	4210.00
Peso molde + b	6695.00	6698.50	6675.50
P. molde + Sh	8691.50	8921.50	9044.00
P. molde + b + Sh	11450.00	11599.00	11707.50

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	77	A1	23	A11	4	A15
P.cap	28.45	651.50	28.41	681.00	18.59	651.00
P.cap + s.hum	50.92	5335.50	62.60	5539.50	52.46	5646.50
P.cap + s.seco	49.65	5023.00	60.99	5213.50	51.02	5295.00
Humedad	5.99%	7.15%	4.94%	7.19%	4.44%	7.57%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.35		0.90		2.45
1.0		0.76		2.10		4.60
1.5		1.03		2.95		7.09
2.0		1.20		3.51		8.90
2.5		1.33		4.02		10.44
3.0		1.47		4.44		11.85
3.5		1.58		4.82		13.36
4.0		1.69		5.20		14.59
4.5		1.77		5.55		15.34
5.0		1.86		5.86		16.39
6.0		2.07		6.45		18.54
7.0		2.27		7.04		19.93
8.0		2.45		7.71		21.70
9.0		2.62		8.31		23.80
10.0		2.83		8.88		25.45
11.0		3.07		9.53		27.42
12.0		3.24		10.18		29.23
13.0		3.43		10.89		31.05

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:		29/09/2023	
Hora de inmersión:		1:30 p. m.	
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	35.00	26.00	51.00
48 h	35.30	26.15	53.00
72 h	35.50	26.30	53.00
96 h	38.00	28.20	53.80

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

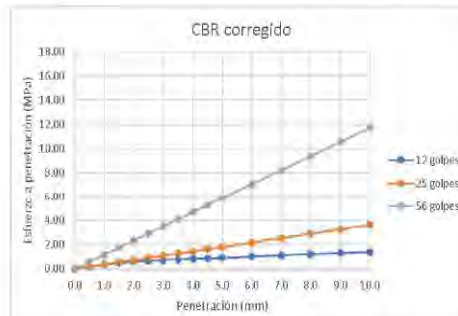
SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.35	0.17		0.37	0.18		1.19	0.59
1.0		0.76	0.37		0.74	0.36		2.38	1.17
1.5		1.03	0.51		1.10	0.54		3.57	1.76
2.0		1.20	0.59		1.47	0.73		4.76	2.35
2.5		1.33	0.66		1.84	0.91		5.95	2.94
3.0		1.47	0.73		2.21	1.09		7.14	3.52
3.5		1.58	0.78		2.58	1.27		8.33	4.11
4.0		1.69	0.83		2.94	1.45		9.52	4.70
4.5		1.77	0.87		3.31	1.63		10.71	5.28
5.0		1.86	0.92		3.68	1.82		11.90	5.87
6.0		2.07	1.02		4.42	2.18		14.28	7.05
7.0		2.27	1.12		5.15	2.54		16.66	8.22
8.0		2.45	1.21		5.89	2.91		19.04	9.39
9.0		2.62	1.29		6.62	3.27		21.42	10.57
10.0		2.83	1.40		7.36	3.63		23.80	11.74
11.0		3.07	1.51		8.10	3.99		26.18	12.92
12.0		3.24	1.60		8.83	4.36		28.56	14.09
13.0		3.43	1.69		9.57	4.72		30.94	15.27



Densidad seca	2.04	2.17	2.24
CBR 0.1"	9.51	13.16	42.55
CBR 0.2"	8.91	17.63	57.00

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.279 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.10 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	41.50 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	57.07 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	24.04 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	31.25 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 0 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 2 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.264
Humedad óptima (%):	6.25

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	B-1	B-3	B-2
Peso molde	4039.00	4101.50	4039.50
Peso molde + b	6563.00	6564.00	6567.00
P. molde + Sh	8722.50	8841.00	8878.50
P. molde + b + Sh	11401.00	11470.50	11552.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	77	A5	23	A4	161	A3
P.cap	28.38	651.50	28.41	650.50	25.22	655.50
P.cap + s.hum	106.63	5394.50	105.90	5508.50	103.91	5812.00
P.cap + s.seco	102.26	4972.50	100.99	5123.00	99.25	5438.50
Humedad	5.91%	9.77%	6.76%	8.62%	6.29%	7.81%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.44		1.25		1.35
1.0		0.95		2.33		2.91
1.5		1.37		3.16		4.35
2.0		1.78		3.87		5.51
2.5		2.07		4.45		6.45
3.0		2.39		5.01		7.33
3.5		2.66		5.56		8.19
4.0		2.93		6.02		8.95
4.5		3.37		6.49		9.65
5.0		3.84		6.93		10.30
6.0		4.28		7.81		11.62
7.0		4.75		8.51		12.90
8.0		5.17		9.20		14.19
9.0		5.60		9.91		15.32
10.0		6.05		10.65		16.51
11.0		6.34		11.34		17.85
12.0		6.74		12.14		19.06
13.0		7.09		12.85		20.45

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	13.00	14.00	11.00
48 h	13.30	14.50	11.50
72 h	13.50	14.60	11.50
96 h	13.60	14.90	11.70

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

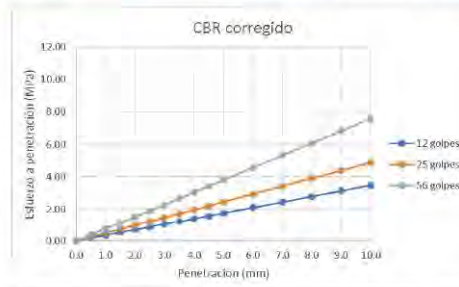
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.35	0.17		0.50	0.24		0.77	0.38
1.0		0.71	0.35		0.99	0.49		1.54	0.76
1.5		1.06	0.52		1.49	0.73		2.31	1.14
2.0		1.42	0.70		1.98	0.98		3.08	1.52
2.5		1.77	0.87		2.48	1.22		3.85	1.90
3.0		2.12	1.05		2.98	1.47		4.62	2.28
3.5		2.48	1.22		3.47	1.71		5.39	2.66
4.0		2.83	1.40		3.97	1.96		6.16	3.04
4.5		3.19	1.57		4.46	2.20		6.93	3.42
5.0		3.54	1.75		4.96	2.45		7.70	3.80
6.0		4.25	2.10		5.95	2.94		9.24	4.56
7.0		4.96	2.45		6.94	3.43		10.78	5.32
8.0		5.66	2.79		7.94	3.92		12.32	6.08
9.0		6.37	3.14		8.93	4.40		13.86	6.84
10.0		7.08	3.49		9.92	4.89		15.40	7.60
11.0		7.79	3.84		10.91	5.38		16.94	8.36
12.0		8.50	4.19		11.90	5.87		18.48	9.12
13.0		9.20	4.54		12.90	6.36		20.02	9.88

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	0.87	12.66	17.73
5.0	10.3	1.75	16.96	23.76



Densidad seca	2.09	2.12	2.16
CBR 0.1"	12.66	17.73	27.53
CBR 0.2"	16.96	23.76	36.88

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.264 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.25 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	46.48 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	62.27 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	24.74 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	33.14 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 0 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 4 LT/M3

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

γd max (gr/cm3):	2.279
Humedad óptima (%):	6.40

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	1	2	3
Peso molde	4209.00	4210.00	4209.00
Peso molde + b	6699.50	6677.00	6696.50
P. molde + Sh	8625.50	8895.50	9120.50
P. molde + b + Sh	11415.00	11589.50	11608.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C18	A1	C63	X	C23	A11
P.cap	143.95	652.00	142.21	659.50	122.56	680.50
P.cap + s.hum	443.60	5332.40	441.36	5546.00	427.02	5723.00
P.cap + s.seco	430.35	4821.50	426.59	5113.50	412.13	5432.50
Humedad	4.63%	12.25%	5.19%	9.71%	5.14%	6.11%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.23		0.85		3.61
1.0		0.52		1.83		6.90
1.5		0.75		2.81		9.07
2.0		0.93		3.66		11.10
2.5		1.06		4.36		12.82
3.0		1.14		4.99		14.08
3.5		1.28		5.61		15.42
4.0		1.40		6.07		16.70
4.5		1.49		6.47		17.81
5.0		1.60		6.85		18.90
6.0		1.87		7.41		20.71
7.0		1.97		8.01		22.22
8.0		2.13		8.68		23.74
9.0		2.25		9.33		24.95
10.0		2.44		9.93		26.33
11.0		2.55		10.57		27.69
12.0		2.72		11.22		29.22
13.0		2.85		11.71		30.69

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:		29/09/2023	
Hora de inmersión:		1:30 p. m.	
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	33.30	28.90	24.60
48 h	34.50	29.00	25.00
72 h	35.00	30.10	25.90
96 h	35.00	30.20	26.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

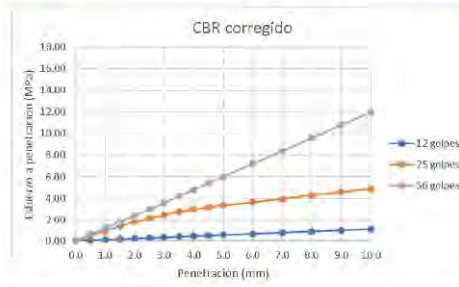
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.11	0.05		0.95	0.42		1.22	0.60
1.0		0.22	0.11		1.83	0.90		2.43	1.20
1.5		0.32	0.16		2.81	1.39		3.65	1.80
2.0		0.43	0.21		3.66	1.81		4.86	2.40
2.5		0.54	0.27		4.36	2.15		6.08	3.00
3.0		0.65	0.32		4.99	2.46		7.30	3.60
3.5		0.76	0.37		5.61	2.77		8.51	4.20
4.0		0.86	0.43		6.07	2.99		9.73	4.80
4.5		0.97	0.48		6.47	3.19		10.94	5.40
5.0		1.08	0.53		6.85	3.38		12.16	6.00
6.0		1.30	0.64		7.41	3.66		14.59	7.20
7.0		1.51	0.75		8.01	3.95		17.02	8.40
8.0		1.73	0.85		8.68	4.28		19.46	9.60
9.0		1.94	0.96		9.33	4.60		21.89	10.80
10.0		2.16	1.07		9.93	4.90		24.32	12.00
11.0		2.38	1.17		10.57	5.22		26.75	13.20
12.0		2.59	1.28		11.22	5.54		29.18	14.40
13.0		2.81	1.39		11.71	5.78		31.62	15.60

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	0.27	3.86	31.18
5.0	10.3	0.53	5.17	32.81



Densidad seca	2.04	2.15	2.26
CBR 0.1"	3.86	31.18	43.47
CBR 0.2"	5.17	32.81	58.25

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.279 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.40 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	49.82 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	63.63 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	28.98 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	35.82 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 0 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 6 LT/M³

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm ³):	2.288
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPÉCIMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	B-1	B-2	B-3
Peso molde	4099.50	4040.00	4034.00
Peso molde + b	6623.50	6496.00	6496.50
P. molde + Sh	8532.50	8732.50	8843.00
P. molde + b + Sh	11337.50	11188.50	11305.50

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C74	A15	C83	A18	B-04	A16
P.cap	139.39	644.00	146.05	653.50	141.01	656.50
P.cap + s.hum	438.52	5042.00	447.44	5411.50	441.71	5554.50
P.cap + s.seco	424.73	4837.50	433.25	5083.50	427.62	5200.50
Humedad	4.83%	4.88%	4.94%	7.40%	4.92%	7.79%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.28		0.87		2.71
1.0		0.49		1.73		5.22
1.5		0.63		2.43		7.64
2.0		0.75		2.97		9.72
2.5		0.82		3.40		11.23
3.0		0.95		3.82		12.51
3.5		1.07		4.22		13.64
4.0		1.18		4.59		14.72
4.5		1.27		4.96		15.78
5.0		1.35		5.13		16.71
6.0		1.53		5.92		18.37
7.0		1.71		6.63		19.87
8.0		1.89		7.21		21.26
9.0		2.07		7.90		22.60
10.0		2.25		8.53		23.77
11.0		2.44		9.15		24.92
12.0		2.64		9.84		25.85
13.0		2.86		10.51		26.66

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	33.70	28.00	22.20
48 h	34.50	30.20	24.20
72 h	35.40	30.40	25.00
96 h	35.50	30.50	25.00
Anillo:	50 kN		

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

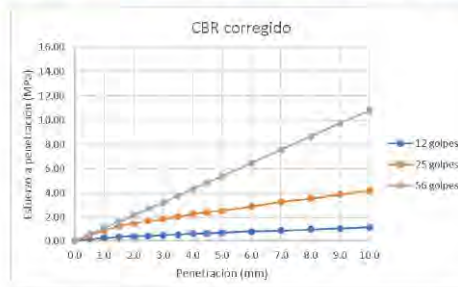
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.28	0.14		0.87	0.43		1.10	0.54
1.0		0.49	0.24		1.73	0.85		2.19	1.08
1.5		0.63	0.31		2.43	1.20		3.29	1.62
2.0		0.75	0.37		2.97	1.47		4.38	2.16
2.5		0.82	0.40		3.40	1.68		5.48	2.70
3.0		0.95	0.47		3.82	1.88		6.58	3.24
3.5		1.07	0.53		4.22	2.08		7.67	3.79
4.0		1.18	0.58		4.59	2.26		8.77	4.33
4.5		1.27	0.63		4.96	2.45		9.86	4.87
5.0		1.35	0.67		5.13	2.53		10.96	5.41
6.0		1.53	0.75		5.92	2.92		13.15	6.49
7.0		1.71	0.84		6.63	3.27		15.34	7.57
8.0		1.89	0.93		7.21	3.56		17.54	8.65
9.0		2.07	1.02		7.90	3.90		19.73	9.73
10.0		2.25	1.11		8.53	4.21		21.92	10.81
11.0		2.44	1.20		9.15	4.51		24.11	11.90
12.0		2.64	1.30		9.84	4.85		26.30	12.98
13.0		2.86	1.41		10.51	5.19		28.50	14.06

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	0.40	5.86	1.68	24.31	2.70	39.18
5.0	10.3	0.67	6.47	2.53	24.57	5.41	52.50



Densidad seca	2.04	2.15	2.21
CBR 0.1"	5.86	24.31	39.18
CBR 0.2"	6.47	24.57	52.50

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.288 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	53.17 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	68.39 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	30.99 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	38.47 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 8 LT/M3

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.297
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPÉCIMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	1	2	3
Peso molde	4209.50	4209.50	4209.00
Peso molde + b	6676.50	6699.50	6696.50
P. molde + Sh	8988.00	9123.50	9289.50
P. molde + b + Sh	116225.00	11740.50	11857.50

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	SN	I	C85	A15	C28	A16
P.cap	147.50	542.50	141.00	658.00	110.50	665.00
P.cap + s.hum	425.75	5581.50	439.04	5608.50	412.94	5776.50
P.cap + s.seco	413.64	5227.56	426.10	5251.24	397.57	5418.79
Humedad	4.55%	7.55%	4.54%	7.78%	5.35%	7.52%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.55		1.57		2.28
1.0		1.74		3.93		5.42
1.5		2.70		5.84		8.17
2.0		3.43		7.14		10.35
2.5		4.09		8.24		12.75
3.0		4.72		9.18		14.32
3.5		5.16		10.07		16.10
4.0		5.60		10.80		17.58
4.5		6.11		11.54		18.85
5.0		6.60		12.24		20.03
6.0		7.46		13.62		22.25
7.0		8.34		14.93		24.63
8.0		9.04		16.09		27.04
9.0		9.78		17.33		29.38
10.0		10.49		18.46		32.03
11.0		11.15		19.62		34.50
12.0		11.87		20.81		36.94
13.0		12.57		21.92		39.12

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	8.40	10.20	1.00
48 h	8.90	10.40	1.20
72 h	9.50	10.70	1.50
96 h	10.00	11.00	1.50
Anillo:	50 kN		

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

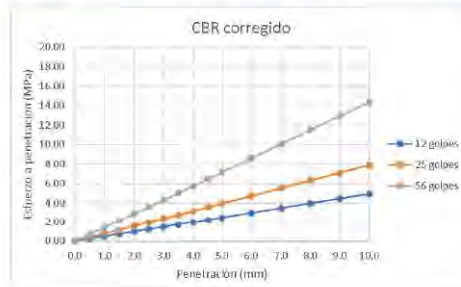
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.50	0.25		0.80	0.39		1.46	0.72
1.0		1.00	0.50		1.60	0.79		2.91	1.44
1.5		1.51	0.74		2.40	1.18		4.37	2.16
2.0		2.01	0.99		3.20	1.58		5.82	2.87
2.5		2.51	1.24		4.00	1.97		7.28	3.59
3.0		3.01	1.49		4.80	2.37		8.74	4.31
3.5		3.51	1.73		5.60	2.76		10.19	5.03
4.0		4.02	1.98		6.40	3.16		11.65	5.75
4.5		4.52	2.23		7.20	3.55		13.10	6.47
5.0		5.02	2.48		8.00	3.95		14.56	7.18
6.0		6.02	2.97		9.60	4.74		17.47	8.62
7.0		7.03	3.47		11.20	5.53		20.38	10.06
8.0		8.03	3.96		12.80	6.32		23.30	11.49
9.0		9.04	4.46		14.40	7.10		26.21	12.93
10.0		10.04	4.95		16.00	7.89		29.12	14.37
11.0		11.04	5.45		17.60	8.68		32.03	15.80
12.0		12.05	5.94		19.20	9.47		34.94	17.24
13.0		13.05	6.44		20.80	10.26		37.86	18.68

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.24	17.95	1.97	28.60	3.59	52.06
5.0	10.3	2.48	24.05	3.95	38.32	7.18	69.74



Densidad seca	2.13	2.20	2.30
CBR 0.1"	17.95	28.60	52.06
CBR 0.2"	24.05	38.32	69.74

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.297 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	49.53 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	66.36 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	27.06 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	36.26 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO: SUELO NATURAL + 10 LT/M3

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm ³):	2.303
Humedad óptima (%):	6.05

DATOS DE LOS ESPÉCIMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	1	2	3
Peso molde	4208.50	4209.50	4209.50
Peso molde + b	6695.00	6698.50	6676.50
P. molde + Sh	8747.50	8986.00	9043.50
P. molde + b + Sh	11508.00	11687.00	11704.50

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C95	D7	C57	D6	C73	D5
P.cap	138.78	651.50	146.12	660.00	138.23	661.50
P.cap + s.hum	434.80	5414.50	444.57	5599.00	434.70	5638.00
P.cap + s.seco	422.71	4928.50	431.65	5156.50	422.18	5324.00
Humedad	4.26%	11.36%	4.52%	9.84%	4.41%	6.73%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.30		1.22		1.86
1.0		0.57		3.10		3.84
1.5		0.80		4.68		5.57
2.0		0.98		5.80		6.91
2.5		1.16		6.72		8.12
3.0		1.32		7.45		9.18
3.5		1.48		8.00		10.13
4.0		1.63		8.57		11.01
4.5		1.78		9.14		11.85
5.0		1.93		9.59		12.62
6.0		2.21		10.05		14.06
7.0		2.44		10.77		15.31
8.0		2.70		11.48		16.63
9.0		2.93		12.09		17.92
10.0		3.16		12.83		19.07
11.0		3.42		13.65		20.32
12.0		3.68		14.40		21.55
13.0		3.97		15.14		22.81

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	34.20	30.00	31.50
48 h	34.70	30.50	31.80
72 h	35.00	31.00	32.00
96 h	35.90	31.20	32.20
Anillo:	50 kN		

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

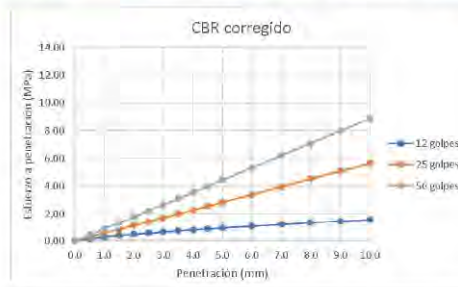
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.30	0.15		0.57	0.28		0.90	0.44
1.0		0.57	0.28		1.15	0.57		1.80	0.89
1.5		0.80	0.39		1.72	0.85		2.70	1.33
2.0		0.98	0.48		2.30	1.13		3.60	1.78
2.5		1.16	0.57		2.87	1.42		4.50	2.22
3.0		1.32	0.65		3.44	1.70		5.40	2.66
3.5		1.48	0.73		4.02	1.98		6.30	3.11
4.0		1.63	0.80		4.59	2.27		7.20	3.55
4.5		1.78	0.88		5.17	2.55		8.10	4.00
5.0		1.93	0.95		5.74	2.83		9.00	4.44
6.0		2.21	1.09		6.89	3.40		10.80	5.33
7.0		2.44	1.20		8.04	3.96		12.60	6.22
8.0		2.70	1.33		9.18	4.53		14.40	7.10
9.0		2.93	1.45		10.33	5.10		16.20	7.99
10.0		3.16	1.56		11.48	5.66		18.00	8.88
11.0		3.42	1.69		12.63	6.23		19.80	9.77
12.0		3.68	1.82		13.78	6.80		21.60	10.66
13.0		3.97	1.96		14.92	7.36		23.40	11.55

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	0.57	8.29	1.42	20.52	2.22	32.18
5.0	10.3	0.95	9.24	2.83	27.50	4.44	43.11



Densidad seca	2.07	2.18	2.21
CBR 0.1"	8.29	20.52	32.18
CBR 0.2"	9.24	27.50	43.11

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.303 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.05 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	44.39 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	61.10 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	26.01 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	34.76 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 2 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.264
Humedad óptima (%):	6.25

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	D1	D2	D3
Peso molde	4202.00	4202.00	4201.00
Peso molde + b	6722.00	6728.00	6702.00
P. molde + Sh	8976.00	9167.00	9182.00
P. molde + b + Sh	11588.00	11719.00	11722.50

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C10	A34	C21	A39	C27	A43
P.cap	126.07	303.87	148.22	248.27	142.44	249.41
P.cap + s.hum	363.36	1451.00	314.66	2190.00	376.23	1941.00
P.cap + s.seco	348.68	1378.00	303.08	2071.00	362.50	1834.00
Humedad	6.59%	6.80%	7.48%	6.53%	6.24%	6.75%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.61		1.40		1.90
1.0		1.23		2.93		3.60
1.5		1.95		3.84		5.22
2.0		2.70		4.94		6.85
2.5		3.47		6.00		8.46
3.0		4.23		7.11		10.00
3.5		4.88		8.22		11.95
4.0		5.48		9.47		12.73
4.5		6.06		10.54		14.16
5.0		6.62		11.62		15.54
6.0		7.70		13.60		17.86
7.0		8.76		15.80		20.37
8.0		9.80		17.90		22.57
9.0		10.80		20.06		24.66
10.0		11.66		22.29		27.23
11.0		12.56		24.46		29.30
12.0		13.34		26.60		31.42
13.0		14.11		28.90		33.54

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	13.00	14.00	11.00
48 h	13.30	14.50	11.50
72 h	13.50	14.60	11.50
96 h	13.60	14.90	11.70

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

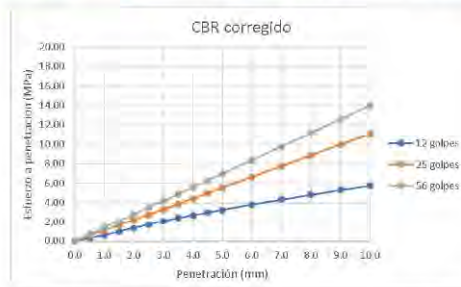
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.61	0.30		1.12	0.55		1.42	0.70
1.0		1.23	0.61		2.25	1.11		2.83	1.40
1.5		1.95	0.96		3.37	1.66		4.25	2.10
2.0		2.70	1.33		4.50	2.22		5.66	2.79
2.5		3.47	1.71		5.62	2.77		7.08	3.49
3.0		4.23	2.09		6.74	3.33		8.50	4.19
3.5		4.88	2.41		7.87	3.88		9.91	4.89
4.0		5.48	2.70		8.99	4.44		11.33	5.59
4.5		6.06	2.99		10.12	4.99		12.74	6.29
5.0		6.62	3.27		11.24	5.55		14.16	6.99
6.0		7.70	3.80		13.49	6.65		16.99	8.38
7.0		8.76	4.32		15.74	7.76		19.82	9.78
8.0		9.80	4.84		17.98	8.87		22.66	11.18
9.0		10.80	5.33		20.23	9.98		25.49	12.58
10.0		11.66	5.75		22.48	11.09		28.32	13.97
11.0		12.56	6.20		24.73	12.20		31.15	15.37
12.0		13.34	6.58		26.98	13.31		33.98	16.77
13.0		14.11	6.96		29.22	14.42		36.82	18.16

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.71	24.81	2.77	40.19	3.49	50.63
5.0	10.3	3.27	31.71	5.55	53.84	6.99	67.83



Densidad seca	2.11	2.18	2.21
CBR 0.1"	24.81	40.19	50.63
CBR 0.2"	31.71	53.84	67.83

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.264 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.25 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	64.43 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	87.50 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	34.91 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	46.03 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 4 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.279
Humedad óptima (%):	6.40

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	E1	E2	E3
Peso molde	4927.00	4919.00	4811.00
Peso molde + b	8371.00	8438.00	8253.00
P. molde + Sh	9736.00	9881.00	9902.00
P. molde + b + Sh	13165.00	13385.00	13329.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C8	D5	C51	A16	C15	A-18
P.cap	144.52	661.50	147.53	665.00	137.94	650.00
P.cap + s.hum	269.23	1335.50	345.64	1247.00	417.73	1257.50
P.cap + s.seco	261.76	1288.00	333.20	1208.50	399.88	1216.50
Humedad	6.37%	7.58%	6.70%	7.08%	6.81%	7.24%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.37		0.95		0.82
1.0		0.88		2.07		1.77
1.5		1.35		2.83		2.92
2.0		1.85		3.63		4.16
2.5		2.35		4.41		5.57
3.0		2.92		5.24		7.04
3.5		3.37		6.09		8.55
4.0		3.85		7.11		9.65
4.5		4.31		7.73		11.01
5.0		4.77		8.47		12.43
6.0		5.63		9.96		14.50
7.0		6.41		11.59		16.76
8.0		7.23		13.10		18.75
9.0		8.01		14.80		20.78
10.0		8.76		16.33		22.96
11.0		9.49		17.86		25.08
12.0		10.21		19.37		27.28
13.0		10.89		20.87		30.09

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	33.30	28.90	24.60
48 h	34.50	29.00	25.00
72 h	35.00	30.10	25.90
96 h	35.00	30.20	26.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

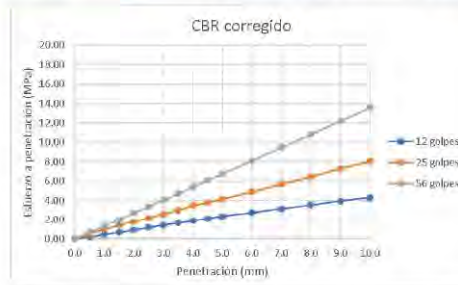
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.37	0.18		0.95	0.47		1.37	0.68
1.0		0.88	0.44		2.07	1.02		2.75	1.35
1.5		1.35	0.67		2.83	1.39		4.12	2.03
2.0		1.85	0.91		3.63	1.79		5.49	2.71
2.5		2.35	1.16		4.41	2.17		6.86	3.39
3.0		2.92	1.44		5.24	2.59		8.24	4.06
3.5		3.37	1.66		6.09	3.01		9.61	4.74
4.0		3.85	1.90		7.11	3.51		10.98	5.42
4.5		4.31	2.13		7.73	3.82		12.36	6.10
5.0		4.77	2.35		8.47	4.18		13.73	6.77
6.0		5.63	2.78		9.96	4.92		16.47	8.13
7.0		6.41	3.16		11.59	5.72		19.22	9.48
8.0		7.23	3.57		13.10	6.46		21.97	10.84
9.0		8.01	3.95		14.80	7.30		24.71	12.19
10.0		8.76	4.32		16.33	8.06		27.46	13.55
11.0		9.49	4.68		17.86	8.81		30.20	14.90
12.0		10.21	5.04		19.37	9.56		32.95	16.26
13.0		10.89	5.37		20.87	10.30		35.69	17.61

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.16	16.84	2.17	31.52	3.39	49.08
5.0	10.3	2.35	22.86	4.18	40.57	6.77	65.76



Densidad seca	2.08	2.14	2.19
CBR 0.1"	16.84	31.52	49.08
CBR 0.2"	22.86	40.57	65.76

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.279 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.40 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	73.43 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	97.45 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	40.92 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	54.27 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 6 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.288
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	D1	D2	D3
Peso molde	4202.00	4202.00	4201.00
Peso molde + b	6722.00	6728.00	6702.00
P. molde + Sh	8900.00	9076.00	9259.00
P. molde + b + Sh	11462.00	11629.00	11737.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C31	B-14	C57	B-34	C65	B-50
P.cap	139.08	210.00	146.13	220.00	143.09	220.00
P.cap + s.hum	376.07	660.00	424.48	660.00	369.21	660.00
P.cap + s.seco	357.87	625.70	406.15	629.42	355.69	631.95
Humedad	8.32%	8.25%	7.05%	7.47%	6.36%	6.81%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.27		1.20		0.35
1.0		0.85		2.72		1.24
1.5		1.23		3.89		2.77
2.0		1.66		5.00		4.52
2.5		2.07		6.06		6.77
3.0		2.65		7.23		9.25
3.5		3.06		8.45		11.45
4.0		3.58		9.55		13.68
4.5		4.08		10.62		15.96
5.0		4.61		11.55		18.47
6.0		5.54		13.66		21.81
7.0		6.32		15.91		25.49
8.0		7.21		17.93		28.73
9.0		8.05		20.44		32.19
10.0		8.95		22.40		35.59
11.0		9.76		24.40		39.31
12.0		10.68		26.39		43.21
13.0		11.52		28.19		48.79

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	37.00	12.70	14.20
48 h	37.50	13.00	14.40
72 h	37.50	13.00	14.50
96 h	38.00	13.50	15.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramírez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

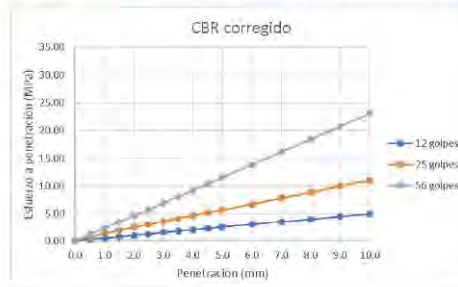
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.51	0.25		1.20	0.59		2.34	1.15
1.0		1.02	0.50		2.72	1.34		4.68	2.31
1.5		1.52	0.75		3.89	1.92		7.02	3.46
2.0		2.03	1.00		5.00	2.47		9.36	4.62
2.5		2.54	1.25		6.06	2.99		11.70	5.77
3.0		3.05	1.50		7.23	3.57		14.04	6.93
3.5		3.56	1.75		8.45	4.17		16.38	8.08
4.0		4.06	2.01		9.55	4.71		18.72	9.24
4.5		4.57	2.26		10.62	5.24		21.06	10.39
5.0		5.08	2.51		11.55	5.70		23.40	11.55
6.0		6.10	3.01		13.66	6.74		28.08	13.85
7.0		7.11	3.51		15.91	7.85		32.76	16.16
8.0		8.13	4.01		17.93	8.85		37.44	18.47
9.0		9.14	4.51		20.44	10.08		42.12	20.78
10.0		10.16	5.01		22.40	11.05		46.80	23.09
11.0		11.18	5.51		24.40	12.04		51.48	25.40
12.0		12.19	6.02		26.39	13.02		56.16	27.71
13.0		13.21	6.52		28.19	13.91		60.84	30.02

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	1.25	18.16	43.33
5.0	10.3	2.51	24.33	55.33



Densidad seca	2.09	2.18	2.29
CBR 0.1"	18.16	43.33	83.66
CBR 0.2"	24.33	55.33	112.09

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.288 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	80.09 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	106.47 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	42.64 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	56.20 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 8 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

vd max (gr/cm3):	2.297
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	E1	E2	E3
Peso molde	4927.00	4919.00	4811.00
Peso molde + b	7265.00	7298.00	7308.00
P. molde + Sh	9813.00	9938.00	9998.00
P. molde + b + Sh	12203.00	12282.00	12460.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C89	A34	C55	A16	B16	D7
P.cap	137.22	303.87	109.56	656.50	231.10	649.00
P.cap + s.hum	355.63	1463.00	324.26	5458.00	436.23	5458.00
P.cap + s.seco	341.67	1383.50	310.76	5135.00	421.63	5140.50
Humedad	6.83%	7.36%	6.71%	7.21%	7.66%	7.07%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.08		0.10		0.51
1.0		0.15		0.26		1.38
1.5		0.29		0.55		2.57
2.0		0.36		0.93		4.08
2.5		0.66		1.57		5.57
3.0		0.98		2.38		7.43
3.5		1.41		3.52		9.42
4.0		1.97		4.80		10.97
4.5		2.69		6.31		12.63
5.0		3.57		8.05		14.19
6.0		5.76		11.69		17.40
7.0		8.69		15.14		20.21
8.0		11.63		18.59		22.82
9.0		14.87		21.76		25.40
10.0		18.08		25.11		27.77
11.0		21.42		27.90		30.50
12.0		24.47		31.09		32.72
13.0		27.84		34.00		34.97

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	0.80	53.30	20.10
48 h	0.90	53.80	20.50
72 h	1.00	54.00	21.00
96 h	1.00	54.00	21.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

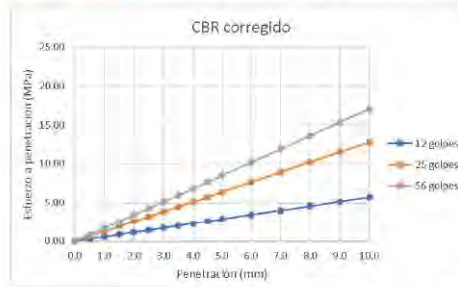
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.58	0.29		1.30	0.64		1.73	0.85
1.0		1.16	0.57		2.59	1.28		3.45	1.70
1.5		1.75	0.86		3.89	1.92		5.18	2.55
2.0		2.33	1.15		5.18	2.56		6.90	3.40
2.5		2.91	1.44		6.48	3.20		8.63	4.28
3.0		3.49	1.72		7.78	3.84		10.35	5.11
3.5		4.07	2.01		9.07	4.48		12.08	5.96
4.0		4.66	2.30		10.37	5.12		13.80	6.81
4.5		5.24	2.58		11.66	5.75		15.53	7.66
5.0		5.82	2.87		12.96	6.39		17.25	8.51
6.0		6.98	3.45		15.55	7.67		20.70	10.21
7.0		8.15	4.02		18.14	8.95		24.15	11.92
8.0		9.31	4.59		20.74	10.23		27.60	13.62
9.0		10.48	5.17		23.33	11.51		31.05	15.32
10.0		11.64	5.74		25.92	12.79		34.50	17.02
11.0		12.80	6.32		28.51	14.07		37.95	18.72
12.0		13.97	6.89		31.10	15.35		41.40	20.43
13.0		15.13	7.47		33.70	16.62		44.85	22.13

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.44	20.81	3.20	46.33	4.26	61.67
5.0	10.3	2.87	27.88	6.39	62.08	8.51	82.63



Densidad seca	2.13	2.19	2.26
CBR 0.1"	20.81	46.33	61.67
CBR 0.2"	27.88	62.08	82.63

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.297 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	73.37 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	98.30 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	38.62 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	51.75 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 10 LT/M³ AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

vd max (gr/cm ³):	2.303
Humedad óptima (%):	6.05

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	D1	D2	D3
Peso molde	4202.00	4201.00	4201.00
Peso molde + b	6721.00	6727.00	6702.00
P. molde + Sh	9110.00	9285.00	9377.00
P. molde + b + Sh	11711.00	11850.50	11880.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C52	C10	C24	C20	C66	C80
P.cap	145.01	125.93	143.48	141.80	160.05	142.87
P.cap + s.hum	372.77	850.96	337.19	764.65	410.38	812.39
P.cap + s.seco	357.37	802.38	324.69	725.25	394.36	764.88
Humedad	7.25%	7.18%	6.90%	6.75%	6.84%	7.64%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.09		0.30		0.40
1.0		0.16		0.72		0.92
1.5		0.26		1.33		1.46
2.0		0.44		2.13		2.40
2.5		0.68		3.07		3.46
3.0		0.95		4.19		4.82
3.5		1.38		5.37		6.70
4.0		1.87		6.53		8.90
4.5		2.42		7.74		11.20
5.0		3.47		9.07		13.84
6.0		4.65		11.19		19.76
7.0		6.42		13.59		26.00
8.0		8.49		15.69		32.50
9.0		10.67		17.71		38.80
10.0		12.69		19.76		45.14
11.0		14.85		21.91		50.36
12.0		17.03		23.93		54.47
13.0		19.25		25.94		57.60

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	17.80	32.00	2.60
48 h	18.50	32.50	2.80
72 h	19.00	33.00	3.00
96 h	19.00	33.00	3.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

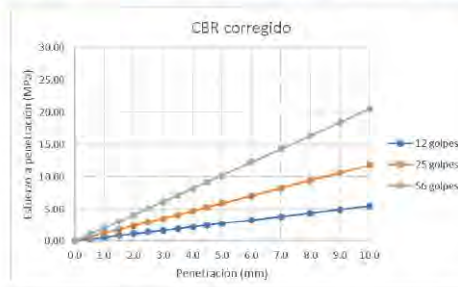
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.56	0.28		1.20	0.59		2.08	1.02
1.0		1.12	0.55		2.40	1.18		4.15	2.05
1.5		1.67	0.83		3.60	1.78		6.23	3.07
2.0		2.23	1.10		4.80	2.37		8.30	4.10
2.5		2.79	1.38		6.00	2.96		10.38	5.12
3.0		3.35	1.65		7.20	3.55		12.46	6.15
3.5		3.91	1.93		8.40	4.14		14.53	7.17
4.0		4.46	2.20		9.60	4.74		16.61	8.19
4.5		5.02	2.48		10.80	5.33		18.68	9.22
5.0		5.58	2.75		12.00	5.92		20.76	10.24
6.0		6.70	3.30		14.40	7.10		24.91	12.29
7.0		7.81	3.85		16.80	8.29		29.06	14.34
8.0		8.93	4.40		19.20	9.47		33.22	16.39
9.0		10.04	4.96		21.60	10.66		37.37	18.44
10.0		11.16	5.51		24.00	11.84		41.52	20.49
11.0		12.28	6.06		26.40	13.03		45.67	22.53
12.0		13.39	6.61		28.80	14.21		49.82	24.58
13.0		14.51	7.16		31.20	15.39		53.98	26.63

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.38	19.95	2.96	42.90	5.12	74.22
5.0	10.3	2.75	26.73	5.92	57.48	10.24	99.44



Densidad seca	2.13	2.24	2.29
CBR 0.1"	19.95	42.90	74.22
CBR 0.2"	26.73	57.48	99.44

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.303 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.05 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	72.14 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	96.65 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	35.32 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	47.32 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 2 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.264
Humedad óptima (%):	6.25

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	A1	A2	A3
Peso molde	4657.00	4714.00	4652.00
Peso molde + b	7364.00	7602.00	7517.00
P. molde + Sh	9770.00	9902.00	10025.00
P. molde + b + Sh	0.00	0.00	0.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C20	D7	C41	A-30	C25	A-23
P.cap	141.82	649.00	139.48	300.00	142.45	250.00
P.cap + s.hum	369.59	5828.00	374.59	5922.00	369.45	5974.00
P.cap + s.seco	354.34	5487.87	359.40	5545.33	355.26	5588.00
Humedad	7.18%	7.03%	6.91%	7.18%	6.67%	7.23%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.61		2.27		3.41
1.0		1.20		3.91		7.28
1.5		1.80		5.49		11.08
2.0		2.42		7.04		13.71
2.5		3.08		8.55		16.21
3.0		3.65		10.01		18.94
3.5		4.17		11.43		21.43
4.0		4.68		12.82		23.91
4.5		5.19		14.17		26.47
5.0		5.66		15.46		29.00
6.0		6.57		17.95		33.35
7.0		7.34		20.25		36.26
8.0		8.20		22.39		41.03
9.0		8.95		24.39		45.94
10.0		9.77		26.19		50.91
11.0		10.51		27.85		55.59
12.0		11.20		29.32		60.54
13.0		11.80		30.65		65.19

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	13.00	14.00	11.00
48 h	13.30	14.50	11.50
72 h	13.50	14.60	11.50
96 h	13.60	14.90	11.70

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

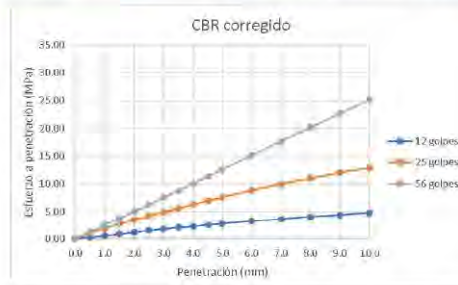
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 2 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.61	0.30		2.27	1.12		2.56	1.26
1.0		1.20	0.59		3.91	1.93		5.11	2.52
1.5		1.80	0.89		5.49	2.71		7.67	3.78
2.0		2.42	1.19		7.04	3.47		10.23	5.05
2.5		3.08	1.52		8.55	4.22		12.78	6.31
3.0		3.65	1.80		10.01	4.94		15.34	7.57
3.5		4.17	2.06		11.43	5.64		17.89	8.83
4.0		4.68	2.31		12.82	6.32		20.45	10.09
4.5		5.19	2.56		14.17	6.99		23.01	11.35
5.0		5.66	2.79		15.46	7.63		25.56	12.61
6.0		6.57	3.24		17.95	8.85		30.68	15.14
7.0		7.34	3.62		20.25	9.99		35.79	17.66
8.0		8.20	4.05		22.39	11.05		40.90	20.18
9.0		8.95	4.42		24.39	12.03		46.02	22.70
10.0		9.77	4.82		26.19	12.92		51.13	25.23
11.0		10.51	5.19		27.85	13.74		56.24	27.75
12.0		11.20	5.53		29.32	14.47		61.35	30.27
13.0		11.80	5.82		30.65	15.12		66.47	32.79

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	1.52	22.02	61.14
5.0	10.3	2.79	27.11	74.06



Densidad seca	2.11	2.16	2.29
CBR 0.1"	22.02	61.14	91.40
CBR 0.2"	27.11	74.06	122.45

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.264 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.25 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	85.14 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	112.30 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	45.46 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	56.71 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 4 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

vd max (gr/cm3):	2.279
Humedad óptima (%):	6.40

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	B1	B2	B3
Peso molde	4701.00	4672.00	4719.00
Peso molde + b	7519.00	7478.00	7529.00
P. molde + Sh	9786.00	9968.00	10221.00
P. molde + b + Sh	0.00	0.00	0.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C13	D6	C44	X	C87	A15
P.cap	109.56	660.00	112.38	659.50	139.40	644.00
P.cap + s.hum	302.50	5843.25	328.58	5867.45	308.50	5884.32
P.cap + s.seco	288.79	5457.35	312.51	5483.40	298.31	5499.60
Humedad	7.65%	8.04%	8.03%	7.96%	6.41%	7.92%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.12		0.14		0.15
0.5		1.02		2.88		2.42
1.0		1.97		4.93		5.07
1.5		3.05		7.00		8.35
2.0		4.08		8.96		11.41
2.5		5.15		10.92		15.31
3.0		6.15		12.76		19.26
3.5		7.11		14.56		23.30
4.0		7.98		16.26		26.76
4.5		8.86		17.73		30.29
5.0		9.73		19.30		33.97
6.0		11.34		22.23		40.10
7.0		12.85		25.07		44.88
8.0		14.41		27.85		50.15
9.0		15.86		30.45		54.82
10.0		17.43		33.05		59.24
11.0		18.87		35.42		63.32
12.0		20.26		37.44		67.38
13.0		21.55		39.37		71.19

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	33.30	28.90	24.60
48 h	34.50	29.00	25.00
72 h	35.00	30.10	25.90
96 h	35.00	30.20	26.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

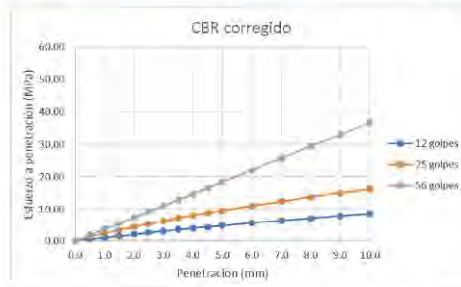
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 4 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.12	0.06		0.14	0.07		0.00	0.00
0.5		1.02	0.51		2.88	1.42		3.73	1.84
1.0		1.97	0.97		4.93	2.43		7.46	3.68
1.5		3.05	1.50		7.00	3.45		11.19	5.52
2.0		4.08	2.01		8.96	4.42		14.92	7.36
2.5		5.15	2.54		10.92	5.39		18.66	9.20
3.0		6.15	3.03		12.76	6.30		22.39	11.05
3.5		7.11	3.51		14.56	7.18		26.12	12.89
4.0		7.98	3.94		16.26	8.02		29.85	14.73
4.5		8.86	4.37		17.73	8.75		33.58	16.57
5.0		9.73	4.80		19.30	9.52		37.31	18.41
6.0		11.34	5.59		22.23	10.97		44.77	22.09
7.0		12.85	6.34		25.07	12.37		52.24	25.77
8.0		14.41	7.11		27.85	13.74		59.70	29.45
9.0		15.86	7.83		30.45	15.02		67.16	33.14
10.0		17.43	8.60		33.05	16.31		74.62	36.82
11.0		18.87	9.31		35.42	17.48		82.09	40.50
12.0		20.26	9.99		37.44	18.47		89.55	44.18
13.0		21.55	10.63		39.37	19.42		97.01	47.86

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	2.54	36.85	78.08
5.0	10.3	4.80	46.61	92.45



Densidad seca	2.14	2.22	2.38
CBR 0.1"	36.85	78.08	133.40
CBR 0.2"	46.61	92.45	178.73

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.279 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.40 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	95.84 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	124.14 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	52.25 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	63.36 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 6 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

vd max (gr/cm3):	2.288
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	C1	C2	C3
Peso molde	4692.00	4729.00	4709.00
Peso molde + b	7580.00	7549.00	7467.00
P. molde + Sh	9803.00	9980.00	10059.00
P. molde + b + Sh	0.00	0.00	0.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C41	B-3	C83	A-23	C29	B-5
P.cap	139.48	910.00	146.12	250.00	136.59	320.00
P.cap + s.hum	348.95	6000.00	317.09	5600.00	322.21	5650.00
P.cap + s.seco	332.64	5600.00	305.58	5250.00	310.74	5310.00
Humedad	8.44%	8.53%	7.22%	7.00%	6.59%	6.81%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.53		2.22		0.64
1.0		1.14		3.93		1.45
1.5		1.93		5.72		2.88
2.0		2.63		7.37		5.00
2.5		3.34		9.05		8.01
3.0		4.05		10.59		10.95
3.5		4.76		12.11		14.13
4.0		5.38		13.50		16.65
4.5		6.00		14.58		19.21
5.0		6.65		15.86		21.95
6.0		7.81		18.18		26.44
7.0		9.00		20.52		30.23
8.0		10.16		22.91		33.50
9.0		11.30		25.14		36.03
10.0		12.51		27.54		38.21
11.0		13.65		29.72		40.19
12.0		14.76		31.52		41.99
13.0		15.86		33.30		43.69

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	37.00	12.70	14.20
48 h	37.50	13.00	14.40
72 h	37.50	13.00	14.50
96 h	38.00	13.50	15.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

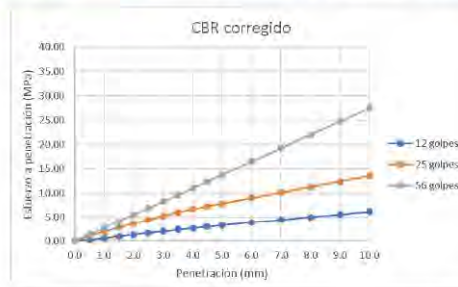
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 6 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.53	0.26		2.22	1.10		2.79	1.38
1.0		1.14	0.56		3.93	1.94		5.58	2.75
1.5		1.93	0.95		5.72	2.82		8.36	4.13
2.0		2.63	1.30		7.37	3.63		11.15	5.50
2.5		3.34	1.65		9.05	4.46		13.94	6.88
3.0		4.05	2.00		10.59	5.22		16.73	8.25
3.5		4.76	2.35		12.11	5.97		19.51	9.63
4.0		5.38	2.65		13.50	6.66		22.30	11.00
4.5		6.00	2.96		14.58	7.19		25.09	12.38
5.0		6.65	3.28		15.86	7.82		27.88	13.75
6.0		7.81	3.85		18.18	8.97		33.45	16.50
7.0		9.00	4.44		20.52	10.12		39.03	19.25
8.0		10.16	5.01		22.91	11.30		44.60	22.00
9.0		11.30	5.58		25.14	12.40		50.18	24.76
10.0		12.51	6.17		27.54	13.59		55.75	27.51
11.0		13.65	6.73		29.72	14.66		61.33	30.26
12.0		14.76	7.28		31.52	15.55		66.90	33.01
13.0		15.86	7.83		33.30	16.43		72.48	35.76

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes	25 golpes	56 golpes
2.5	6.9	1.65	23.86	64.68
5.0	10.3	3.28	31.85	75.95



Densidad seca	2.11	2.20	2.27
CBR 0.1"	23.86	64.68	99.66
CBR 0.2"	31.85	75.95	133.52

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.288 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	107.91 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	140.36 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	54.66 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	69.73 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m3 AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 8 LT/M3 AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

yd max (gr/cm3):	2.297
Humedad óptima (%):	6.00

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	E1	E2	E3
Peso molde	4690.00	4739.00	4698.00
Peso molde + b	7579.00	7577.00	7482.00
P. molde + Sh	9698.00	9974.00	10020.00
P. molde + b + Sh	0.00	0.00	0.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C47	A-3	C9	A-34	C48	A-18
P.cap	139.84	320.00	116.12	300.00	128.26	650.00
P.cap + s.hum	301.16	5450.00	328.59	5570.00	307.41	6030.00
P.cap + s.seco	291.40	5050.00	316.00	5180.00	296.39	5710.00
Humedad	6.44%	8.46%	6.30%	7.99%	6.55%	6.32%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.60		0.57		0.24
1.0		1.02		1.13		1.03
1.5		1.44		1.98		2.75
2.0		2.00		3.06		4.50
2.5		2.58		4.31		6.36
3.0		3.27		5.78		8.20
3.5		3.99		7.16		10.45
4.0		4.62		8.54		12.45
4.5		5.07		9.88		14.37
5.0		5.66		11.25		16.44
6.0		6.72		13.50		20.52
7.0		7.61		15.97		24.39
8.0		8.63		18.17		27.08
9.0		9.68		20.39		30.01
10.0		10.59		22.57		32.07
11.0		11.40		24.97		34.38
12.0		12.38		27.54		36.66
13.0		13.23		29.87		38.93

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	17.80	32.00	2.60
48 h	18.50	32.50	2.80
72 h	19.00	33.00	3.00
96 h	19.00	33.00	3.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

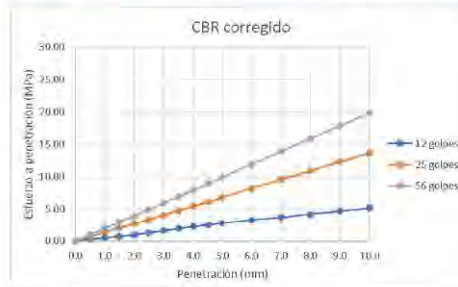
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 8 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.60	0.30		1.39	0.68		2.02	0.99
1.0		1.02	0.50		2.78	1.37		4.03	1.99
1.5		1.44	0.71		4.16	2.05		6.05	2.98
2.0		2.00	0.98		5.55	2.74		8.06	3.98
2.5		2.58	1.27		6.94	3.42		10.08	4.97
3.0		3.27	1.61		8.33	4.11		12.10	5.97
3.5		3.99	1.97		9.72	4.79		14.11	6.96
4.0		4.62	2.28		11.10	5.48		16.13	7.96
4.5		5.07	2.50		12.49	6.16		18.14	8.95
5.0		5.66	2.79		13.88	6.85		20.16	9.95
6.0		6.72	3.32		16.66	8.22		24.19	11.94
7.0		7.61	3.75		19.43	9.59		28.22	13.93
8.0		8.63	4.26		22.21	10.96		32.26	15.91
9.0		9.68	4.77		24.98	12.33		36.29	17.90
10.0		10.59	5.22		27.76	13.70		40.32	19.89
11.0		11.40	5.62		30.54	15.07		44.35	21.88
12.0		12.38	6.11		33.31	16.44		48.38	23.87
13.0		13.23	6.53		36.09	17.81		52.42	25.86

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.27	18.45	3.42	49.62	4.97	72.08
5.0	10.3	2.79	27.09	6.85	66.49	9.95	96.57



Densidad seca	2.12	2.18	2.24
CBR 0.1"	18.45	49.62	72.08
CBR 0.2"	27.09	66.49	96.57

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.297 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.00 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	96.77 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	128.25 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	46.49 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	63.09 %

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYO DE C.B.R. / 7 DÍAS DE SECADO: SUELO NATURAL + 10 LT/M³ AGB

Tipo de Proctor:	MODIFICADO
Método:	C

γ _d max (gr/cm ³):	2.303
Humedad óptima (%):	6.05

DATOS DE LOS ESPECÍMENES			
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Molde N°	D1	D2	D3
Peso molde	4730.00	4693.00	4729.00
Peso molde + b	7552.00	7325.00	7591.00
P. molde + Sh	9778.00	9908.00	10143.00
P. molde + b + Sh	0.00	0.00	0.00

HUMEDADES	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Cápsula N°	C95	A-30	C80	A-8	C44	A-40
P.cap	138.83	300.00	0.00	250.00	0.00	300.00
P.cap + s.hum	336.36	5450.00	330.41	5610.00	336.69	5640.00
P.cap + s.seco	322.12	5070.00	318.12	5230.00	321.48	5310.00
Humedad	7.77%	7.97%	3.86%	7.63%	4.73%	6.59%

mm	PENETRACIÓN					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN	tiempo	Carga KN
0.0		0.00		0.00		0.00
0.5		0.44		1.70		1.11
1.0		0.90		3.06		2.41
1.5		1.38		4.18		3.90
2.0		1.75		5.10		5.85
2.5		2.12		6.10		8.48
3.0		2.50		6.98		11.21
3.5		2.86		7.88		13.94
4.0		3.23		8.98		17.10
4.5		3.60		10.16		19.66
5.0		3.94		11.34		22.72
6.0		4.61		13.68		28.63
7.0		5.32		16.02		35.13
8.0		5.99		18.16		41.57
9.0		6.68		20.46		47.65
10.0		7.34		22.74		52.03
11.0		8.04		24.76		58.89
12.0		8.67		26.92		64.42
13.0		9.37		29.24		69.23

EXPANSIÓN			
Fecha de inmersión:	29/09/2023		
Hora de inmersión:	1:30 p. m.		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
INICIAL	0.00	0.00	0.00
24 h	0.80	53.30	20.10
48 h	0.90	53.80	20.50
72 h	1.00	54.00	21.00
96 h	1.00	54.00	21.00

Anillo: 50 kN

TESIS: "Estudio de la aplicación de un polímero de estireno acrílico sobre un suelo arenoso de una vía no pavimentada en San Antonio de Jicamarca"

ENSAYO: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio

REFERENCIA: N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

SOLICITANTE: Jairo Marcelo Ramirez Bazan / Adrián Hostin Chavez Gamarra

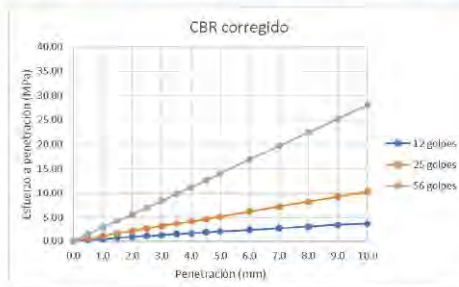
LUGAR: Localidad de Jicamarca, distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, Perú.

MUESTRA: Suelo natural + 10 lt/m³ AGB

PROFUNDIDAD: 1.50 m

mm	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)	Tiempo (s)	Carga (kN)	Esfuerzo (Mpa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
0.5		0.44	0.22		1.05	0.52		2.85	1.40
1.0		0.90	0.44		2.10	1.03		5.69	2.81
1.5		1.38	0.68		3.14	1.55		8.54	4.21
2.0		1.75	0.86		4.19	2.07		11.39	5.62
2.5		2.12	1.05		5.24	2.59		14.24	7.02
3.0		2.50	1.23		6.29	3.10		17.08	8.43
3.5		2.86	1.41		7.34	3.62		19.93	9.83
4.0		3.23	1.59		8.38	4.14		22.78	11.24
4.5		3.60	1.78		9.43	4.65		25.62	12.64
5.0		3.94	1.94		10.48	5.17		28.47	14.05
6.0		4.61	2.27		12.58	6.20		34.16	16.86
7.0		5.32	2.62		14.67	7.24		39.86	19.67
8.0		5.99	2.96		16.77	8.27		45.55	22.47
9.0		6.68	3.30		18.86	9.31		51.25	25.28
10.0		7.34	3.62		20.96	10.34		56.94	28.09
11.0		8.04	3.97		23.06	11.38		62.63	30.90
12.0		8.67	4.28		25.15	12.41		68.33	33.71
13.0		9.37	4.62		27.25	13.44		74.02	36.52

Penetración (mm)	Carga Estandar (MPa)	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
2.5	6.9	1.05	15.16	2.59	37.47	7.02	101.79
5.0	10.3	1.94	18.87	5.17	50.20	14.05	136.37



Densidad seca	2.10	2.24	2.27
CBR 0.1"	15.16	37.47	101.79
CBR 0.2"	18.87	50.20	136.37

Los resultados del ensayo Proctor son:

Máxima densidad seca	2.303 g/cm ³
Óptimo contenido de humedad	6.05 %

Empleando una fórmula de tendencia se obtiene los siguientes resultados:

CBR 0.1" al 100% de compact.	90.10 %	CBR 0.2" al 100% de compact.	121.12 %
CBR 0.1" al 95% de compact.	44.25 %	CBR 0.2" al 95% de compact.	58.65 %