



Universidad Científica del Perú - UCP

Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN
LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO,
DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.”**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior

Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César

ASESOR:

Ing. Caleb Ríos Vargas M Sc.

ORCID: 0000-0002-7183-4892



COASESOR:

Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituari M Sc.

ORCID: 0000-0002-1616-7601

San Juan Bautista, Maynas, Loreto

2024

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO
RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA
CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA ,
PROVINCIA DE MAYNAS – 2023"**

De los alumnos: LEANDRO JUNIOR LÓPEZ PINEDO Y BRUNO CÉSAR MONTALVÁN PEÑA, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de 20 de similitud.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 26 de noviembre del 2024.



Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

UCP_IngenieriaCivil_2024_Tesis_Leandro_Pinedo_Bruno_Montalván_v2



Nombre del documento: UCP_IngenieriaCivil_2024_Tesis_Leandro_Pinedo_Bruno_Montalván_v2.pdf ID del documento: c9beb9a8cda9afdd642ccd423ce64b40f2761987 Tamaño del documento original: 1,76 MB Autores: []	Depositante: Chris Angela Ramirez Flores Fecha de depósito: 26/11/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 26/11/2024	Número de palabras: 31.421 Número de caracteres: 201.640
---	---	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	apuntesingenierocivil.blogspot.com APUNTES INGENIERÍA CIVIL: noviembre 2010 https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/11/ 6 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (791 palabras)
2	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/83975/1/Espinoza_CLE-Santimperi_AGL-S... 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (702 palabras)
3	repositorio.urp.edu.pe https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/116/gutierrez_ca.pdf?sequence=1 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (617 palabras)
4	sct.imt.mx http://sct.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/p201.pdf 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (566 palabras)
5	spij.minjus.gob.pe https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2008/Abril/09/RM-303-2008-MTC-02_09-04-08.pdf 3 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (495 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dialnet.unirioja.es https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042973.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	s75f4f2ab11b373dd.jimcontent.com https://s75f4f2ab11b373dd.jimcontent.com/download/version/1411363351/module/2120617119...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	Documento de otro usuario #0dc3c3 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
4	dialnet.unirioja.es https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5051914.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
5	megarok.com.ec http://megarok.com.ec/web/wp-content/uploads/ESPECIFICACIONES-DE-BASES-Y-SUB-BASES-IMP...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Con Resolución Decanal N° 345-2023-UCP-FCEI, del 02 de mayo del 2023, se designó jurado.

Con Resolución Decanal N° 1111-2024-UCP-FCEI, del 27 de noviembre del 2024, se autorizó la sustentación.

Siendo las 11:00 a.m. del día 28 de noviembre del 2024, se constituyó de modo presencial el Jurado para escuchar la presentación y defensa de la Tesis: **"EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS - 2023"**.

Presentado por:

LEANDRO JUNIOR LÓPEZ PINEDO
Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

BRUNO CÉSAR MONTALVÁN PEÑA
Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

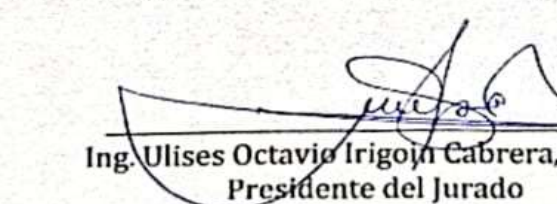
Asesor: Ing. CALEB RIOS VARGAS, M. Sc

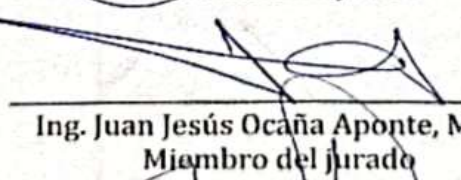
Luego de escuchar la sustentación y defensa ante las preguntas, el Jurado pasó a la deliberación en forma reservada, llegando a la siguiente conclusión:

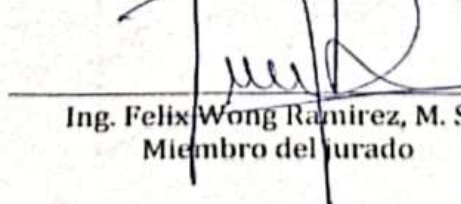
La sustentación es: APROBADA POR UNANIMIDAD

A las 12 :30 horas culminó el acto público.

En fe de los cual los miembros del jurado firman el Acta y comunican en acto público.


Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc
Presidente del Jurado


Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc.
Miembro del jurado


Ing. Felix Wong Ramirez, M. Sc.
Miembro del jurado

HOJA DE APROBACIÓN

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

**BACHILLERES: LEANDRO JUNIOR LÓPEZ PINEDO Y BRUNO CÉSAR MONTALVÁN
PEÑA**

**La Tesis sustentada en acto público el día 28 de noviembre del 2024, a las 11:00
am, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.**



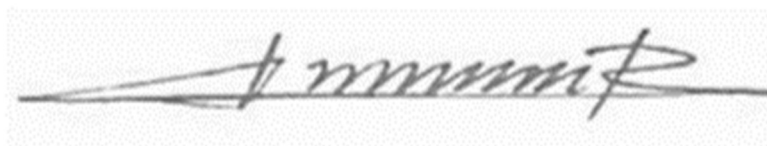
ING. ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA, M. SC
PRESIDENTE DE JURADO



ING. JUAN JESÚS OCAÑA APONTE, M. SC.
MIEMBRO DE JURADO



ING. FELIX WONG RAMIREZ, M. SC.
MIEMBRO DE JURADO



ING. CALEB RIOS VARGAS, M. SC
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, todo poderoso por dirigir y forjar mi camino. Por Siempre brindarme salud y protección.

A mis padres, Leonor López Correa y Liz Mónica Pinedo Shapiama, por ser los autores principales de mi vida, muchos de mis logros los debo a ustedes, infinitamente agradecidos con ustedes mis amores eternos por las enseñanzas y valores inculcados en mis hermanos y mi persona.

Leandro Junior López Pinedo

A Dios, por darme sabiduría y fuerzas para seguir adelante ante los obstáculos que se me presenten.

A mis padres, Julio César Montalván Inga y Berenice Peña Rengifo, por ser el cimiento de todo lo que soy y aspiro a ser. Su amor, fortaleza y fe en mí han sido mi mayor inspiración. Cada logro mío refleja su sacrificio y sus enseñanzas, y por ello les estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos, Sergio, Braulio y Brunela, mis primeros amigos y cómplices, por ser mi luz, mi alegría y mi fuerza. Su apoyo constante me ha impulsado a soñar y alcanzar lo inimaginable.

Bruno César Montalván Peña

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, por darnos la vida.

A nuestros asesores, Ing. Caleb Ríos Vargas y Claudia de Jesús Morales Aquituari por su dedicación y dirección en la realización de esta tesis; sin su ayuda, difícilmente la habiéramos concluido, satisfactoriamente.

Al personal del laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de materiales de la UCP, Ing. José Pinedo Izquierdo por la orientación y aporte durante la realización de los ensayos.

A los practicantes del laboratorio, por apoyarnos durante los ensayos de investigación.

A la Ing. Gloria Nelly Rimarachin Carbajal, subdirectora de Laboratorio y Suelos – DEIV (GRTC) y a su técnico Nilo Cainamari Sanchez, por su invaluable apoyo y dedicación en el laboratorio. Sus conocimientos, paciencia y disposición para orientarnos en el manejo de las máquinas y equipos fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por compartir su experiencia, brindarnos las herramientas necesarias y guiarnos en cada etapa del proceso. Su compromiso y profesionalismo dejaron una huella imborrable en nuestro aprendizaje.

A todas las personas que de alguna manera nos brindaron su respaldo en la realización de la presente tesis.

Los autores

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
1. Marco teórico	1
1.1 Antecedentes del estudio.....	1
1.2 Bases teóricas.....	9
1.2.1 Origen de los suelos.....	9
1.2.2 Suelos residuales.....	10
1.2.3 Suelos sedimentarios.....	11
1.2.4 Humedad de los suelos.....	12
1.2.5 Importancia de la Mecánica de los Suelos en la construcción de pavimentos.....	13
1.2.6 Propiedades físicas de los suelos	20
1.2.7 Análisis de materia orgánica: Método de Walkley y Black	38
1.2.8 Propiedades físicas y químicas y tipos de arcillas.....	38
1.2.9 Estabilización de suelos	39
1.2.10 Métodos de estabilización de suelos	46
1.2.11 Respuesta de los suelos a la estabilización con aditivos en carreteras.....	49
1.2.12 Estabilización de suelos con productos químicos en carreteras	51
1.2.13 Estabilización de vías No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito	52
1.2. Definición de términos básicos.....	65
2. Planteamiento del problema.....	73
2.1. Descripción del problema.....	73
2.2. Formulación del problema.....	79

2.2.1.	Problema general	80
2.2.2.	Problemas específicos.....	80
2.3.	Objetivos	81
2.3.1.	Objetivo general	81
2.3.2.	Objetivos específicos.....	81
2.4.	Hipótesis	82
2.4.1.	Hipótesis general.....	82
2.4.2.	Hipótesis específicas	82
2.5.	Variables	83
2.5.1.	Identificación de variables.....	83
2.5.2.	Definición conceptual y operacional de las variables	83
2.5.3.	Operacionalización de las variables.....	84
3.	Metodología	85
3.1.	Tipo y diseño de investigación	85
3.1.1.	Tipo de investigación	85
3.1.2.	Diseño de investigación.....	85
3.2.	Población y muestra.....	85
3.2.1.	Población.....	85
3.2.2.	Muestra	86
3.3.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	86
3.3.1.	Técnicas de recolección de datos.....	86
3.3.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	88
3.3.3.	Laboratorios y Procedimientos a emplear.....	88
3.3.4.	Materiales utilizados	89
3.3.5.	Equipos utilizados.....	89
3.3.6.	Descripción de Ensayos realizados: Para el suelo areno limo arcilloso con adición de Polvo de vidrio molido al 0 %.....	90
3.3.7.	Ensayos para el suelo areno limo arcilloso con adición en diversos porcentajes de polvo de vidrio molido	93

3.4.	Procesamiento y análisis de datos	93
4.	Resultados y discusión de resultados	94
4.1.	Resultados	94
4.2.	Discusión	111
5.	Conclusiones y recomendaciones	115
5.1.	Conclusiones.....	115
5.2.	Recomendaciones	119
	Referencias Bibliográficas	120
	Anexos	132
	ANEXO 02: PANEL FOTOGRÁFICO.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características básicas para la superficie de rodadura de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.....	17
Tabla 2.	Categoría de la Subrasante según su CBR indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC	18
Tabla 3.	Densidad relativa vs compacidad de suelos granulares	21
Tabla 4.	Clasificación por índice de consistencia	26
Tabla 5.	Agrupación granulométrica de suelos: cuatro grandes grupos.	29
Tabla 6.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.....	30
Tabla 7.	Tabla. Aspectos asociados al Sistema AASHTO vs Sistema SUCS	35
Tabla 8.	Comparación entre la clasificación Sistemas SUCS y AASHTO	35
Tabla 9.	Niveles de Materia Orgánica.....	38
Tabla 10.	Métodos de mejoramiento de suelos por estabilización	46
Tabla 11.	Procedimientos para modificar un suelo natural.....	47
Tabla 12.	Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.....	49
Tabla 13.	Especificaciones Técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros	53
Tabla 14.	Características de materiales para Base	55
Tabla 15.	Características Físicas de botellas de vidrio	61
Tabla 16.	Ensayos y normas para análisis de suelo.....	63
Tabla 17.	Dosificación de polvo de vidrio para ensayo BCR	64
Tabla 18.	Tabla 301.C -01, (Ensayos y Frecuencias para suelo estabilizado con productos químicos)	65
Tabla 19.	Características técnicas de la calle 10 de Agosto (de 0.75 km aproximadamente)	76
Tabla 20.	Operacionalización de Variables	84

Tabla 21.	Cantidad de muestra por calicata	86
Tabla 22.	Cantidad de muestras a ensayar	86
Tabla 23.	Fases de recopilación de datos	87
Tabla 24.	Coordenadas UTM de ubicación de Cantera.....	87
Tabla 25.	Coordenadas de emplazamiento de calicatas	87
Tabla 26.	Ensayos a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.....	88
Tabla 27.	Materiales utilizados para desarrollar la tesis	89
Tabla 28.	Equipos utilizados para desarrollar la tesis.....	89
Tabla 29.	Contenido de Humedad de suelo areno limo arcilloso cantera Km 17 carretera Iquitos -Nauta con adición polvo de vidrio molido al 0 %	90
Tabla 30.	Análisis granulométrico de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de Terrasil al 0%	90
Tabla 31.	Análisis granulométrico con el hidrómetro de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0% ..	91
Tabla 32.	Análisis de Límite Líquido de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%	91
Tabla 33.	Análisis de Límite Plástico de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%	91
Tabla 34.	Compactación Proctor Modificado de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%.....	92
Tabla 35.	Ensayo CBR de suelo areno limo arcilloso Cantera km 17 carretera Iquitos Nauta con adición de polvo de vidrio molido al 0%	92
Tabla 36.	Resultados Límite de Consistencia del suelo natural: ASTM D-422 /NTP 339.128.....	106
Tabla 37.	Resultados Ensayo de Proctor Modificado del suelo natural. Método A (ASTM D1557).....	106
Tabla 38.	Resultados Razón de Soporte California CBR ASTM D-1883 suelo natural de cantera	107

Tabla 39.	Resultados Análisis granulométrico por tamizado del polvo de vidrio molido: ASTM D-422 /NTP 339.128.....	107
Tabla 40.	Resultados Límite de Consistencia del polvo de vidrio: ASTM D-4318– T90 /NTP 339.129.....	107
Tabla 41.	Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557).....	108
Tabla 42.	Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883.....	108
Tabla 43.	Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557).....	109
Tabla 44.	Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883.....	109
Tabla 45.	Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557).....	109
Tabla 46.	Razón de Soporte California CBR ASTM D 1557.....	110
Tabla 47.	Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1883).....	110
Tabla 48.	Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Curva granulométrica de un suelo (Según Lambe, 1951).	25
Figura 2.	Curvas granulométricas	25
Figura 3.	Curva de compactación	133
Figura 4.	Curva C.B.R.	135
Figura 5.	Curva granulometrica.	136
Figura 6.	Curva de flujo	138
Figura 7.	Curva granulometrica	140
Figura 8.	Curva de flujo.	141
Figura 9.	Curva de compactación	143
Figura 10.	Gráficos C.B.R.....	145
Figura 11.	Curva de compactación	146
Figura 12.	Gráficos C.B.R.....	148
Figura 13.	Curva de compactación	149
Figura 14.	Gráficos de interpretación.....	151
Figura 15.	Curva de compactación.	152
Figura 16.	Gráficos de interpretación.....	154

RESUMEN

Este trabajo de tesis corresponde a una investigación aplicada y explicativa con enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y diseño cuasiexperimental; tuvo como objetivo principal, establecer la contribución de la adición de polvo de vidrio reciclado en la mejora de las características físicas y mecánicas del suelo natural arcilloso de una colina baja, emplazado en el AA. HH. Villa Jerusalén en la carretera Iquitos – Santo Tomás, cuyas propiedades se ha previsto mejorar adicionando polvo de vidrio reciclado en 2%, 5%, 7.5% y 10% para su uso en la conformación de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas. En su desarrollo se empleó la estadística descriptiva e inferencial. Como resultados de la investigación se obtuvieron porcentajes óptimos de máxima densidad seca y humedad óptima al adicionar el 5 % de polvo de vidrio reciclado. Se concluye que los resultados del estudio son satisfactorios, pues el incorporar el 5 % de vidrio reciclado molido ayuda a mejorar las propiedades del suelo, siendo el valor de Razón Soporte California CBR al 95 % el de los más favorables al bordear 26.5 %; asimismo, el suelo cuyo IP de 13.55%, mejoró a una DS de 1.699 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 17,35 %.

Palabras Clave: Estabilización; vidrio reciclado; conformación de subrasante.

SUMMARY

This thesis work corresponds to an applied research and explanatory with a quantitative approach, descriptive level and design quasi-experimental; Its main objective was to establish the contribution of the addition of recycled glass powder in improving physical characteristics and mechanics of the natural clay soil of a low hill, located in the AA. HH. Villa Jerusalem on the Iquitos – Santo Tomás highway, whose properties It is planned to improve by adding recycled glass powder in 2%, 5%, 7.5% and 10% for use in the formation of the subgrade of 10th Street August, district of San Juan Bautista, province of Maynas. In its development used descriptive and inferential statistics. As results of the research, optimal percentages of maximum dry density and optimal humidity by adding 5% recycled glass powder. It is concluded that the results of the study are satisfactory, since incorporating 5% of Ground recycled glass helps improve soil properties, being the California CBR Support Ratio value at 95% the most favorable to the border 26.5%; Likewise, the soil whose IP of 13.55% improved to a DS of 1,699 gr/cm³, for an optimal moisture content of 17.35%.

Keywords: Stabilization; recycled glass; formation of subgrade.

1. Marco teórico

1.1 Antecedentes del estudio

En estos últimos años en las áreas urbanas y periurbanas de las ciudades en el Perú, una forma de promover la inclusión social y la integración local incluye la ampliación, conservación y modernización de la infraestructura de transportes y protección del medio ambiente urbano, por lo que se viene desarrollando un agresivo programa de construcción y rehabilitación de pavimentos. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y el Ministerio de Transportes han regulado aspectos trascendentes sobre la construcción de calles, carreteras y caminos, incluyendo la regulación sobre el uso de estabilizadores como insumo indispensable para mejorar la capacidad de soporte o CBR (California Bearing Ratio) de los materiales de características marginales de la subrasante, para cuyas capas se consideran los suelos con CBR igual o mayor a 6%; así como para los suelos granulares de buenas características, pero de estabilidad insuficiente para conformación de las capas de material tipo afirmado de sub base y base. En el presente caso, se requiere reconformar la subrasante, con material de préstamo, de características físicas y mecánicas pobres, razón por la que procedió a su estabilización usando polvo molido de vidrio reciclado. (Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo tránsito: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

Mas, García, Marco, & Jaime (2016), realizaron una investigación en la Universidad Politécnica de Madrid – España, sobre la viabilidad ambiental del empleo de mortero elaborados con PVR en la estabilización de suelos con polvo de vidrio; el tipo de investigación fue experimental. Y sus conclusiones son: Se ha comprobado que los componentes alcalinos (Na y K) de la composición química, especialmente el Na procedente del vidrio, es dejado libre en buena cantidad, aunque este no es una amenaza para el ambiente, dado que no sale en cantidades suficientes para generar variación en la canalización eléctrica de suelo. Al encontrarse Ca en el agua que se filtra, no forma un riesgo o amenaza

ecológico, dado que es un componente no tóxico y en las concentraciones añadidas no causarían cambios en el pH del suelo. Los sobrantes de componentes encontrados no son más que huellas detenidas en las aguas de filtración que por su carencia no alcanzan formar una amenaza para el entorno de acuerdo a la legislación usada. (Mas, García, Marco & Jaime, 2016)

Khan & Mateeullah (2018) en su artículo científico “Effects of waste glass powder on the geotechnical properties”, publicado en la Revista Civil Engineering en la UCT de la Información de Pakistán, referente a los efectos de la utilización de polvo de los desechos de vidrio roto en el mejoramiento de sus propiedades geotécnicas del suelo realizando diferentes pruebas de laboratorio. El tipo de investigación realizada es experimental. Llegó a las siguientes conclusiones: El vidrio pulverizado puede ser efectivamente utilizado como estabilizador del suelo. Los resultados mostraron que la gradación del suelo es estrecha desde el análisis de partículas del tamaño de partícula correspondiente a los suelos CL – ML. Índice de plasticidad (I.P), límite líquido (LL) y límite plástico (LP) disminuyeron con la adición de polvo de vidrio. El estudio demostró que el mejor estabilizador para el estudio de caso referido a la estabilización de suelos de la carretera tramo Pabbi – Peshawar, es el polvo de vidrio y la dosis óptima es del 8%.

Mahdi & Al-Hassnawi (2018), en su trabajo de investigación, en la Universidad de Al – Qadisiyah de Iraq, estudió el efecto de agregar polvo de vidrio al suelo a fin de hacer mejoras en sus propiedades. El tipo de investigación es experimental. Usó botellas de vidrio de CocaCola, las que fueron lavadas, secadas, pulverizadas y tamizadas en la malla N° 200, cuya fracción de material pasante fue la utilizada. Halló que el material agregado tenía un efecto favorable en el suelo y mejoró las características del suelo, su LL, LP e IP disminuyó con el aumento de polvo de vidrio, así como el CBR que obtuvo un mejoramiento significativo cuando se aumenta el polvo de vidrio en porcentaje del 3%, 5%, 7% y 9%, donde estos valores crecientes fueron 2.5, 3.3, 5.2, 9.4 veces al valor del CBR del suelo no tratado.

Gowtham (2018, p.4) en su artículo científico sobre estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de vidrio y polvo de residuos plásticos, tuvo como objetivo general determinar la máxima resistencia de un suelo arcilloso. (Espinoza y Santimperi, 2021, p. 4). Su investigación fue del tipo aplicada, con un diseño experimental y una investigación cuantitativa, resultando así que con la inclusión de vidrio y plástico mejora significativamente la resistencia del suelo arcilloso. Llegó a concluir que, mientras la partícula de vidrio y plástico va en aumento, las variaciones toman una tendencia que es constante y que el óptimo porcentaje es el 6%, logrando los mejores resultados en términos de propiedades del suelo arcilloso. (Espinoza y Santimperi, 2021, p.4). Enfatizó que las propiedades geotécnicas del suelo mejoran con la adición de vidrio y plástico, disminuyendo así el aumento de porcentajes del plástico y vidrio en la contaminación ambiental. (Espinoza y Santimperi, 2021, p.4).

Babatunde, Sani, & Sambo (2019), en su investigación, en el Departamento de Ingeniería Civil, Academia de Defensa de Nigeria, Estado de Kaduna – Nigeria, investigaron el efecto del polvo de vidrio en BCS con respecto a sus propiedades de ingeniería. Los investigadores señalan que su investigación es experimental. Ellos llegaron a las siguientes conclusiones: El BCS patrón registró una tensión de compresión axial de 40 kN/m² en comparación al valor máximo de 140 kN/m² al 4% de reemplazo de polvo de vidrio. Esto muestra más del 350% de incremento. El Límite Líquido más bajo se registró en 75,9 % para un 6% de reemplazo de polvo de vidrio en peso; y el Límite Plástico más bajo se registró en 14,5% para el reemplazo del 8% de polvo de vidrio. La Densidad Seca Máxima (MDS) del suelo fue de 1,57 mg/m³ con un reemplazo del 4% de polvo de vidrio. El contenido de humedad óptimo más alto fue del 22,2% y se alcanzó con un 2% de polvo de vidrio. (Noel, 2022, p.16).

Javed y Chakraborty (2020, p.3) en su artículo sobre los efectos del polvo de vidrio residual en la mejora de la subrasante investigó la viabilidad de utilizar residuos de vidrio para la estabilización del suelo y de esta manera lograr la mejora de sus propiedades mecánicas, generando buen desempeño en las carreteras. Se empleó un diseño de investigación experimental y un enfoque

cuantitativo, se obtuvo como resultado que con la inclusión de 2%, 4%, 6% y 8% el porcentaje óptimo de vidrio es el 8%. Se concluye que los residuos de vidrio se pueden utilizar en la estabilización de suelos, pues aumenta la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad disminuye y aumenta el Valor de Soporte de California (CBR) con la inclusión del 8% de vidrio. (Espinoza y Santimperi, 2021, p.4).

Rathee, Shivdasani, Sharma y Sharma (2018, p.6) en su trabajo de investigación titulado “Estabilización del suelo con vidrio en polvo” tuvo como objetivo determinar el cambio notorio del comportamiento del suelo después de mezclarlo con el vidrio en polvo. Emplearon un tipo de investigación experimental, se obtuvo como resultado de la investigación que la mejor proporción de vidrio para lograr la estabilización es el 10%. Estos investigadores concluyeron que la densidad seca máxima del suelo se incrementó hasta en un 10% máximo y disminuye aún más en un 15% si se le sigue incrementando, se obtuvo el mismo resultado para el CBR del suelo que resultó ser más alto en 10% y luego el valor disminuyó en un 15%. (Espinoza y Santimperi, 2021, p.4, 5).

Kusumastuti y Sepriyanna (2019, p.4) en su artículo de investigación “Estabilización de suelos blandos con ceniza de arroz y polvo de vidrio reciclado”. La investigación se centró en analizar el uso del vidrio triturado en sustitución parcial de los agregados comunes utilizados, con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo en estudio. Se empleó un diseño de investigación experimental y un enfoque cuantitativo, se obtuvo como resultados de la investigación que la ceniza de cascara de arroz y vidrio reciclado usados como estabilizadores en suelos blandos, mejoran las características físicas del suelo adicionado con estos elementos. Se concluyó que el vidrio y la ceniza de arroz logran la estabilización de suelos disminuyendo el contenido de humedad y los límites de consistencia en suelos blandos. (Espinoza y Santimperi, 2021, p.5).

Poma (2016), en su trabajo de tesis titulado “Estabilización de suelos con polvo de vidrio reciclado” en la universidad San Pedro de la ciudad de Huaraz, determinó el efecto de la adición de 0%, 5%, 7%, 10% de PVR, en la

densidad seca máxima y la resistencia al corte de un suelo arcilloso. La investigación es del tipo experimental. Determinaron el porcentaje óptimo de polvo de vidrio, a partir de los mejores niveles de trabajabilidad de los suelos analizados. El rendimiento de optimización de la mezcla se observó en la mejora de las propiedades de resistencia, plasticidad y estabilidad, recomendándose el empleo del polvo de vidrio reciclado para la estabilización de suelos arcillosos.

Pusari & Quispe (2020) en su trabajo de tesis titulado “Estudio práctico de mejoría de las características de resistencia al corte de un suelo arcilloso con fibras de polipropileno y polvo de vidrio reciclado en el pueblo de Talara, jurisdicción de Piura”, realizada en la Universidad de Ciencias Aplicadas – Filial UPC de Piura, efectuaron una evaluación experimental con la finalidad de evidenciar que el empleo de la fibra de polipropileno y PVR se completan consiguiendo mejorar el comportamiento del suelo arcilloso, al subir la resistencia al corte, frente a otros aditivos como el caucho reciclado, cemento, cal y otros. El tipo de investigación fue experimental. Concluyeron que se alcanzaron las mejoras de las características de resistencia al corte con una adición de reemplazo proporcional a 5%, registrando mejorías en el ángulo de fricción y en cohesión. Las características de resistencia mejoran grandemente, empleando las adiciones de 5%, 6% y 7.5%; asimismo, lograron que la expansividad disminuyera.

Sánchez y Terrones (2020, p.3) en su tesis “Estabilización de suelos empleando vidrio reciclado e híbrido de polvo de concha de abanico, Huacacorrall”, el objetivo general de estudio fue evaluar el comportamiento del suelo tras utilizar vidrio reciclado e híbrido en polvo de concha de abanico. Se trabajó con una investigación aplicada y un diseño experimental puro. Como resultado de la investigación se obtuvo que el óptimo porcentaje de adición para lograr la estabilización del suelo en estudio es el 20%, con cuyo porcentaje se generó un incremento del porcentaje de la máxima densidad seca y CBR. Se concluyó que tiene una reacción positiva puzolánica hacia la adición de vidrio reciclado y concha de abanico, en los ensayos de MDS (Máxima densidad seca)

y CBR, se encontró que existe mejoría en las propiedades del suelo para ser utilizado en la sub rasante (p. 36). (Espinoza y Santimperi, 2021, p. 5, 6).

Haro (2021, p.2), en su trabajo de tesis para optar el título de ingeniero civil por la Universidad César Vallejo, referida a la estabilización de suelo arenoso y presencia mínima de arcillas, tipo A-1-b (AASHTO) o SP (SUCS), en el Asentamiento Humano Villa hermosa, Nuevo Chimbote, incorporando polvo de vidrio reciclado molido, compuesto químicamente por un 78% de sílice. Se planteó como objetivo general, evaluar el efecto que tiene el vidrio molido reciclado en la estabilización química y mecánica de dicho suelo arenoso. Se trabajó con una investigación aplicada y explicativa con enfoque cuantitativo, diseño experimenta. Según los resultados, se obtuvieron porcentajes óptimos en la máxima densidad seca y humedad óptima al adicionar el 6% de polvo de vidrio reciclado, al mejorar estas propiedades considerablemente, llegando a aumentar hasta en más de un 50% de su valor inicial. Se concluyó que la adición de vidrio reciclado aumenta los porcentajes del CBR (95%) que ayuda a mejorar las propiedades del suelo, aumentando los porcentajes del CBR (95%) (p.38).

Bravo y López (2021, p. 15, 62) en su tesis, para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, estudió el mejoramiento de las propiedades mecánicas utilizando vidrio y valvas de molusco en suelos arcillosos de la ciudad de Talara, Piura. Tuvo como objetivo determinar el efecto que ejerce la implementación de vidrio y las valvas de molusco para el mejoramiento de la subrasante en el tramo Talara-Piura 2021. Se empleó un tipo de investigación aplicada y cuantitativa con un nivel descriptivo y diseño experimental, se obtuvo como resultado que el empleo de vidrio y valvas de molusco aumentan la resistencia del suelo compuesto por arcilla de baja plasticidad (CL, según SUCS), cuyo 98.1% pasaba la malla N°200 y solo el 1.9% retenidos en la malla N° 100 (arenas), LL era de 47%, IP era de 24%. Concluyó que al combinar el vidrio y valvas de molusco (tamaño de partícula de 0.149mm) disminuye el óptimo contenido de humedad y logran estabilizar el suelo arcilloso de este sector de Talara-Piura, ya que aumenta su densidad seca de 1.784 g/cm³ a 1.847 g/cm³ y su contenido de humedad de

9.4% a 12.1%. Asimismo, al mezclar el suelo expansivo con el polvo de vidrio y polvo de valvas de molusco, dicha combinación reduce significativamente la expansión, el potencial de hinchamiento, las deformaciones transversales y la filtración de agua, conformando un material bastante estable. (p. 62, 63).

Maraví (2021, p. 2) en su tesis para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Cesar Vallejo, estudió los efectos de la incorporación en porcentajes pasantes a la malla N° 40 de 0.5%, 1% y 1.5% de vidrio y PET, obtenidos del reciclaje, en la estabilización de un suelo arcilloso, a nivel de subrasante, del Jr. 9 de Diciembre, distrito de Quinua - Ayacucho, 2021. La investigación fue del tipo aplicada, de diseño cuasi-experimental y nivel explicativo. De los resultados, el Índice de Plasticidad del suelo en estado natural, al añadirsele 1.5% de polvo de vidrio, bajó de 5.57% a 3.57%; y, en estado natural al 0.1" de penetración tuvo un CBR al 95% de 24.2% y con 1.5% de vidrio alcanzó 46.5% de CBR; y, con 1% de PET alcanzó el 40.2%. Concluye que, resultados óptimos en la resistencia del suelo se obtienen con la inclusión del 1.5% de polvo de vidrio y 1% de polvo de PET; siendo concluyente que, la inclusión de vidrio y PET en la subrasante mejora la capacidad portante de los suelos de tipo CL hasta un determinado porcentaje (p. 80). (Maraví, 2021).

Espinoza y Santiperi (2021, p.55), en su trabajo de investigación sobre la influencia del uso del polvo de vidrio reciclado en la mejora de la estabilización de suelos de una carretera llegó a las siguientes conclusiones: Se concluye que el tipo de suelo de la carretera entre los Centro Poblados Collud- Ventarron, distrito de Pomalca - departamento de Lambayeque. El suelo natural estudiado, según SUCS, correspondió a una arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) y según AASTHO es un suelo arcilloso de regular a malo (A-6), que presenta un IP media de 13.33% (Espinoza y Santiperi, 2021). Las características de resistencia del suelo natural de esta carretera presentan un valor de CBR 7.13% clasificándolo como subrasante regular - S2. De los resultados de la experimentación, encontró: Las propiedades mecánicas de suelo natural más la incorporación del 4%, 6% y 8% de vidrio triturado, mejoran, obteniéndose una MDS de 1.91gr/cm³ y un OCH de 13,15 con el 4%, 1.92gr/cm³ y un OCH de

11.62% con 6% y, 1.93gr/cm³ y un OCH 10.71% con 8% de vidrio triturado en el ensayo de proctor modificado y un CBR al 95% de la MDS es de 8.80%, 10.50% y 13.03% con la incorporación de 4%, 6% y 8% de vidrio triturado, respectivamente. El investigador concluyó que, el 8% de vidrio triturado resultó ser el porcentaje óptimo para la estabilización del suelo arcilloso de la carretera, disminuyendo la plasticidad y contenido de humedad, lográndose el mayor porcentaje de MDS (1.93gr/cm³) y CBR (13.035%). (Espinoza y Santiperi, 2021, p.55).

Noel (2022, pp. 151, 152): En su tesis investigó: Estabilización de suelo utilizando polvo de vidrio reciclado”, llegó a la siguiente Conclusión general: Se demostró y comprobó la hipótesis presentada mediante los ensayos de suelos realizados en el laboratorio principalmente con los valores de CBR y según la prueba de normalidad paramétrica de Pearson; afirmando que si existe mejora en la estabilización de suelo, utilizando polvo de vidrio reciclado para usarse como suelo óptimo para base y/o sub base en jirón Miguel Grau Seminario, urbanización La Florida, Barranca, empleando un porcentaje óptimo de 2,90% y 2,60% de PVR para cada tipo de suelo; mejorando el CBR en 13,83% y 3,78%; dado a que los resultados obtenidos de los tres puntos analizados para el suelo natural fueron, valores de CBR de 53.8%, 62.0% y 59.7% y en los suelos con adiciones de polvo de vidrio se obtuvieron porcentajes de CBR mayores como 74.1%, 72.3% y 63.3%; hallándose un incremento máximo de mejora de 20.3% en el suelo más desfavorable, puntualizando que estos valores de CBR son al 100% del peso unitario máximo a 0.2” de penetración. (Noel, 2022, pp.151, 152). Cabe precisar que los porcentajes óptimo para un suelo SC y SC – SM, se obtuvo de las ecuaciones de la línea de tendencia de las cuales, al reemplazar la dosis óptima, se obtiene los valores de CBR de 71,73% y 63,48%. (Noel, 2022, pp.151, 152). Finalmente se concluye que, los porcentajes óptimos de 2%, 5% y 8% de polvo de vidrio reciclado mejoran las propiedades mecánicas del suelo (Noel, 2022, pp.151, 152).

Vásquez (2010), en su Tesis para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Nacional de Ingeniería, recomienda elegir apropiadamente el

método de estabilización de suelos, tomando en cuenta el tipo de suelo, procedimientos constructivos, costos y las condiciones que deberá soportar la vía durante su vida de servicio. Vásquez (2010) en (Najar y Manuyama, 2022). En su trabajo, indicó que para estabilizar suelo arcilloso de alta plasticidad del tipo CH, usar cal; y, para un suelo areno limoso (SM) efectuarlo con cemento (Vásquez 2010, p. 112).

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Origen de los suelos

“La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por la meteorización de las rocas, en cuyo proceso experimentan desintegración física y descomposición química”. (Vásquez y Marín, 2020). Najar y Manuyama (2022), señalan: “Los suelos que provienen de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan características diferentes si la alteración es física o química; así, cuando el efecto alterativo de las rocas se lleva a cabo por un medio físico se produce un suelo con la misma composición de ellas (Crespo, 2007)”. (Vásquez y Marín, 2020). En la descomposición química, los minerales persistentes se transforman en minerales de composición y propiedades físicas diferentes, donde los minerales y partículas rocosas de menor tamaño resultantes de la meteorización mecánica son, aun, mucho más susceptibles al cambio químico que los granos minerales firmemente soldados en roca compacta (Muelas s.f.); (Jara, 2014). (Najar y Manuyama, 2022).

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se les encuentre en el mismo lugar en que se han generado o en lugar diferente. El transporte por aire y agua y la sedimentación en esos dos medios físicos constituyen el mecanismo natural que da lugar a un suelo transportado, al estudio de cuyas características, generalmente y en más de lo deseado, se refiere la actual Mecánica de Suelos; inclusive en los niveles académicos intermedios a menudo se confundieron con las propiedades de los suelos en general, aun cuando lógicamente la estructuración y “disposición y distribución

interna” de las propiedades de los suelos residuales hayan de ser completamente diferentes. (Juárez y Rico, 2001). (Najar y Manuyama, 2022).

1.2.2 Suelos residuales

“Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización de las rocas no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan in situ. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen sobre la velocidad de alteración en la naturaleza de los productos de meteorización están el clima (temperatura y lluvia), el tiempo, la naturaleza de la roca original, la vegetación, el drenaje y la actividad bacteriana. Los suelos residuales suelen ser más abundantes en zonas húmedas, templadas, favorables al ataque químico de las rocas y con suficiente vegetación para evitar que los productos de meteorización sean fácilmente arrastrados. (Muelas s.f.)” (Najar y Manuyama, 2022).

En los suelos residuales, el ataque mecánico y la desintegración química tienden a producir un resultado final que en estructura y disposición deviene de la roca madre; pero, los suelos transportados y depositados en aire o agua generan estructuras que están regidas únicamente por los mecanismos propios de la deposición y en nada por la disposición, características y condiciones iniciales de la roca original, condiciones éstas que se valora muy poco en la práctica de la Mecánica de los Suelos (Juárez y Rico, 2001) en (Najar y Manuyama, 2022).

Los suelos tropicales en un gran porcentaje son suelos arcillosos mezclados, principalmente con limo y arena, tipificados como saprolíticos. Ensayos de resistencia al cortante efectuados en estos suelos arrojan valores muy dispersos; sin embargo, se ha encontrado que la prueba de la veleta practicada en campo en suelos saprolíticos que se encuentren muy fisurados, arroja siempre valores mucho más confiables que las ensayos de laboratorio, comprobándose que estos valores son mucho más altos en casi todos los casos

que los obtenidos por otros medios, siendo el límite más bajo los resultados de los ensayos triaxiales rápidos y los más próximos los resultados de los ensayos de Compresión-No-Confinada. (Carrillo-Gil, 1978) en (Najar y Manuyama, 2022).

Carrillo-Gill (2016) en Najar y Manuyama (2022), sobre la estabilización con cal de suelos residuales en la Selva Baja, señaló: “suelos saprolíticos de la Amazonia Peruana que permanentemente presentan contenidos, de humedad natural mucho mayores que el óptimo de compactación, se han encontrado algunos resultados de laboratorio para especímenes que presentan portancia tan baja como CBR de 1% a 5% en promedio, y que al mezclarse con cal se obtiene un aumento substancial en el valor del CBR para diferentes tiempos de curado, probablemente debido al desarrollo de la reacción puzolánica en el suelo, estableciéndose que con 5% a 6% de cal hidratada en peso es posible obtener un mínimo de 15% de CBR, y si se continua el curado, se encontró que después de un buen tiempo el CBR aumentó llegando hasta valores mayores de 29% en 140 horas (Carrillo-Gil, et al, 1993). En la mayoría de los casos, la adición de 5%, a 6% de cal hidratada fue suficiente para lograr resistencias adecuadas para el diseño de pavimentos de carreteras, calles y aeródromos. (Najar y Manuyama, 2022).

1.2.3 Suelos sedimentarios

La formación de los suelos sedimentarios lo constituye, principalmente, la depositación o acumulación de los sedimentos producto de la meteorización física y química de las rocas en la superficie terrestre, interviniendo también en el proceso el medio de transporte: agua, aire, hielo, gravedad y organismos vivos. El transporte modifica la forma, el tamaño y la textura de las partículas por abrasión, desgaste, impacto y disolución; o, produce una gradación de las partículas según su diámetro (Muelas s.f). (Najar y Manuyama, 2022). En general, las partículas de limo, arena y grava se forman por la meteorización física de las rocas, mientras que las partículas arcillosas proceden de la alteración química de las mismas. (Muelas s.f.). (Najar y Manuyama, 2022).

Después de que, las partículas se han formado y han sido transportadas

se depositan o acumulan formando un suelo sedimentario. “Las tres causas principales de este depósito en el agua son la reducción de la velocidad, la disminución de la solubilidad y el aumento de electrolitos. También, cualquier cambio en la temperatura del agua o en su naturaleza química puede provocar una reducción en la solubilidad de la corriente, produciéndose la precipitación de algunos de los elementos disueltos. (Muelas s.f)”. (Najar y Manuyama, 2022)

Muelas (s.f), los suelos están formados por partículas pequeñas e individualizadas que pueden considerarse indeformables. Entre estas partículas quedan poros que pueden estar llenos de agua (suelos saturados), o con aire y agua (suelos semisaturados), constituyendo un sistema multifase (sólida, líquida y gaseosa), lo que condiciona la respuesta de conjunto del material. (Muelas s.f). (Najar y Manuyama, 2022).

1.2.4 Humedad de los suelos

Las propiedades de los suelos cambian sustancialmente, por el agua de absorción que contienen. Un tipo especial de agua de absorción lo constituyen las aguas capilares que se desplazan siempre de la parte húmeda del suelo a la seca cuando ambas están en contacto. (Salas, 2017). En arcillas, el agua puede elevarse lentamente hasta alturas considerables, por su parte en las arenas el agua capilar se traslada sólo algunas pulgadas, pero lo hace muy rápidamente. El agua capilar puede trasladarse también de una masa de suelo saturada por completo, si ésta ofrece una cara expuesta a la intemperie de modo tal que su contenido de agua pueda evaporarse, en cuyo caso el agua capilar se desplaza continuamente desde la parte saturada para remplazar el agua que se pierde por evaporación superficial. (Salas, 2017) (Najar y Manuyama, 2022).

La causa de la fuerza que “tira” del agua capilar puede explicarse, de manera elemental, por la acción de la tensión superficial del agua y por la fuerza de tracción del menisco. (Juárez y Rico, 2001)”. (Salas, 2017). En una porción de masa de tierra, no existen canales rectos, pero el agua capilar se desplaza a través de una intrincada red de poros. Cuando la humedad capilar invade un suelo seco y en polvo, las partículas son retenidas, con firmeza unas contra las

otras por una fuerza de compresión generalizada, a la que se le denomina presión capilar. “Cuanto más finos son los poros, tanto mayor es la fuerza de atracción del menisco y tanto mayor será la presión capilar. O, dicho de otro modo, cuanto más delgada son las películas capilares que rodean las partículas del suelo, tanto más intensa es la presión capilar. Cuando se seca un terrón de arcilla, las películas capilares se adelgazan y la arcilla se endurece” (Juarez y Rico, 2001) en (Salas, 2017). (Najar y Manuyama, 2022).

El contenido de humedad se determina en los laboratorios de Mecánica de Suelos aplicando métodos debidamente estandarizados; y en las investigaciones de suelos, en el propio terreno se identifican aquellos como secos, húmedos, empapados y saturados y en la práctica se los estima por inspección visual y por el tacto (Juárez y Rico, 2001). (Najar y Manuyama, 2022).

Menéndez (2016), señala los principales efectos de la presencia del agua en la estructura del pavimento: Reducción de la resistencia de los materiales granulares no estabilizados y de la subrasante. Pérdida de los finos en las juntas de pavimentos rígidos y en las bases granulares de pavimentos flexibles. Generación de hundimiento o expansión. Desprendimientos en la mezcla asfáltica y problemas de durabilidad en el concreto por presencia continua de agua. Degradación de la calidad del pavimento del material de la subrasante debido a la interacción con la humedad. Pérdida de unión entre las capas de pavimento debido a la saturación de los materiales. (Menéndez, 2016).

1.2.5 Importancia de la Mecánica de los Suelos en la construcción de pavimentos

1.2.5.1 El suelo de fundación en la construcción de pavimentos

En el proceso de diseño y construcción de obras viales, los suelos son muy variados, no presentan un patrón de distribución y el tratamiento de sus características naturales para incrementar la resistencia, durabilidad o mejorar la trabajabilidad con fines de su uso como terreno de fundación o como material es de una complejidad muy grande, y es un reto permanente en la Ingeniería Vial

(Menéndez, 2016). Del mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante de baja capacidad de soporte por procedimientos mecánicos, por adición de productos químicos u otro procedimiento trata la estabilización; mientras que cuando, por algún tratamiento se mejoran las propiedades físicas de los materiales de la base y subbase, estos materiales son denominados materiales tratados. (Menéndez, 2016).

El suelo de fundación proporciona gran porcentaje de la capacidad general del Sistema estructural del pavimento, especialmente para los pavimentos flexibles. Para el diseño se requiere, en primer término, conocer las propiedades de los suelos que conforman el suelo de fundación y la subrasante. La calidad del suelo influye en la definición del trazo y las dimensiones de la estructura del pavimento, así como también en los trabajos de mantenimiento que serán requeridos durante su vida útil, razón por la cual que desde su diseño se requiere conocer las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de humedad), de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad, el coeficiente de balasto, CBR), propiedades hidráulicas y térmicas (coeficientes de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión térmica), propiedades relacionadas con la deformabilidad (módulo de elasticidad, coeficiente de compresibilidad). (Menéndez, 2016).

Los esfuerzos generados por las cargas de tráfico son mayores en las capas superiores, y disminuye con la profundidad, por consiguiente, los materiales de mayor calidad y por lo general de mayor costo, son utilizados en las capas superiores del pavimento, y los de menor calidad y menor costo se utilizan para las capas más profundas de la estructura. Esta situación permite, la optimización del uso de materiales para maximizar la capacidad resistente y reducir los costos de construcción de utilizar materiales disponibles localmente, requiriendo una mayor atención a las capas de menor calidad en el diseño. (Menéndez, 2016).

Los suelos por lo menos a un (1) m por debajo del nivel de la subrasante, deben estar constituidos por los ssuelso adecuados y estables ($CBR > 6\%$). En caso de existir suelos pobres o inadecuados estos serán reemplazados,

susituidos, mejorados o estabilizados, (...) (MTC, 2014) en (Menéndez, 2026, p.40).

1.2.5.1.1 Asentamiento en el suelo de fundación de estructuras viales

Posiblemente el problema más grave que entraña un suelo fino y compresible que constituye la cimentación de una vía, es el que se refiere a los asentamientos por su pobre capacidad de soporte para recibir la sobrecarga que representan los terraplenes y las cargas de los vehículos (Najar y Manuyama, 2022). Dichos asentamientos causan: 1) Pérdida de bombeo de la vía. 2) Aparición de asentamientos diferenciales en el sentido longitudinal de la vía. 3) Disminución en la altura inicial del terraplén. 4) Perjuicios en el comportamiento de obras de drenaje y sub drenaje. 5) Agrietamientos en la corona del terraplen. 6) Pérdida de la configuración apropiada de la transición entre los terraplenes de acceso y las estructuras de alcantarillas y puentes, cuando éstas tienen cimentación profunda (pilotes, u otro tipo) y, no participan en el asentamiento general.

Para Montejo (1982), es muy difícil estimar, el orden de asentamiento permisible que se debe considerar en una vía construida sobre suelos blandos; sin embargo, si el asentamiento fuera igual en un tramo largo, el problema no sería significativo en comparación con los asentamientos diferenciales, excepto en ciertos casos, tales como terraplenes de acceso a estructuras rígidas o en zonas inundables. (Montejo, 1982).

1.2.5.1.2 Mejoramiento del suelo de fundación

Para Menéndez (2026, p.117), cuando el suelo de fundación no tiene las características adecuadas para actuar como soporte de la estructura de pavimentos, se debe estabilizar o mejorar el suelo natural, mediante algunas de las siguientes alternativas de mejoramiento: 1. Mejoramiento de drenaje subterráneo. 2. Remoción y reemplazo con materiales mejores. 3. Estabilización mecánica adicionando materiales granulares. 4. Estabilización mecánica incorporando geosintéticos (geotextiles y geomallas). 5. Estabilización de suelos

con la Adición de agentes mejoradores o estabilizadores. 6. Encapsulamiento del suelo. (Menéndez, 2026, p.117)

La estabilización busca principalmente la modificación o mejoramiento de alguno o varios de los siguientes parametros: 1. Estabilidad volumétrica, para reducir los problemas de expansion o hinchamiento. 2. Resistencia, para incrementar el modulo resiliente del suelo de fundación. 3. Permeabilidad, para reducir la infiltración de agua, por ende la inestabilidad del material, así como el potencial de expansion por congelamiento. 4. Compresibilidad para reducir las deformaciones plásticas permanentes. 5. Durabilidad, para mejorar la estabilidad del material en el tiempo y reducir los cambios o disminucioón de resistencia (Menéndez, 2006, p.117, 118)

La selección de zonas que requieren mejoramiento son seleccionadas en función a una serie de factores tales como: profundidad del suelo blado, las cargas de tráfico previsto, la importancia de la red de transporte, la constructibilidad y las características de drenaje del diseño geométrico y el suelo subyacente. (Menéndez, 2026, p.117).

Los problemas de interacción entre superestructura y terreno de cimentacion en una obra vial son tan complejos que, se mejora algún aspecto y se desmejoran otras variables. Con frecuencia, la norma de mejoramiento adoptada es contradictoria; en el sentido, de que resulta desventajosa, para uno o varios aspectos; lo importante, es entonces, resaltar el aspecto fundamental que se pretende mejorar y balancear, convenientemente, las virtudes y defectos de la norma de mejoramiento adoptada. (Montejo, 2006).

1.2.5.2 Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

Las Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), caracterizadas por tener una superficie de rodadura de material granular y son recorridas generalmente por un volumen menor de 50 vehículos por día y que muy pocas veces llegan hasta 200 vehículos por día. (Najar y Manuyama, 2022)

“Las carreteras de bajo volumen de tránsito se estructuran como carreteras de bajo costo. Consecuentemente, tienen alineamientos de diseño que evitan excesivos movimientos de tierra, considerando estructuras y obras de arte, por lo general diseñadas para períodos de vida útil, de corto y mediano plazo; con capas de revestimiento granular afirmados y, en general, con características que disturban lo menos posible la naturaleza del terreno” (MTC, 2008). (Najar y Manuyama, 2022).

Tabla 1. Características básicas para la superficie de rodadura de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

Tipo CBVT	IMD Proyec.	Ancho de Calzada (m)	Estructuras y Superficie de Rodadura
T3	101-200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado
T2	51-100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura Tamaño máximo 5cm); perfilado y compactado, min. 15cm
T1	16-50	1 carril(*) o 2 carriles 3.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura Tamaño máximo 5cm); perfilado y compactado, min. 15cm.
T0	<15	1 carril (*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) en lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrooza	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural

ble			seleccionada, perfilado y compactado
-----	--	--	--------------------------------------

Fuente: *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito; p.7.*

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500-1000m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana a la carretera pueden ser estabilizada mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

1.2.5.3 Subrasante de carreteras y materiales apropiados para su coronación

1.2.5.3.1 Subrasantes

Subrasante es la capa superficial de terreno natural, cuya función principal es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación. Se le considera como la cimentación del pavimento y es la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento. (MTC, 2005). Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima (MTC, 2008). Para construcción de carreteras se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m. (Najar y Manuyama, 2022)

Se identifican cinco categorías de subrasante como muestra la Tabla siguiente:

Tabla 2. Categoría de la Subrasante según su CBR indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC

Nombre	Subrasante	CBR
SO	Muy Pobre	<3%

S1	Pobre	3%-5%
S2	Regular	6%-10%
S3	Buena	11%-19%
S4	Muy Buena	>20%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC, 2013.

1.2.5.3.2 Materiales apropiados para coronación de subrasantes

Se considerarán materiales apropiados para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor, se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y en su reemplazo se colocará material granular con CBR mayor a 6%, para su estabilización. La profundidad mínima especificada de esta capa figura en el catálogo de estructuras de capas granulares que se presenta más adelante. Igualmente se estabilizarán las zonas húmedas locales y áreas blandas. Sobre la subrasante natural se colocará una capa de arena de espesor 0.20m mínimo y sobre ésta, se añadirá una capa de espesor mínimo de 0.30m de material grueso rocoso o de piedras grandes (MTC, 2008). (Najar y Manuyama, 2022)

La superficie de la subrasante debe quedar -como mínimo- encima del nivel de la napa freática, una altura de 0.60 m cuando se trate de una subrasante muy buena y buena; 0.80 m cuando se trate de una subrasante regular; 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y 1.20 m cuando se trate de una subrasante muy pobre. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario. Los subdrenes para proteger la capa de afirmado se proyectarán cuando la subrasante no esté constituida por material permeable y cuando las capas de rodadura no puedan drenar adecuadamente. Los subdrenes que se proyecten para interceptor filtraciones o para rebajar el nivel freático elevado, pueden utilizarse también para drenar el afirmado (MTC, 2008). (Najar y Manuyama, 2022)

El espesor total determinado, está compuesto por una capa de afirmado,

por la granulometría del material y aspectos constructivos, el espesor de la capa de afirmado no será menor de 150mm (MTC, 2008). Se podrán ajustar las secciones de afirmado en función de las condiciones y experiencias locales, para lo cual, Najjar y Manuyama (2022), recomiendan aplicar la norma (MTC,2008): Analizar las condiciones de la subrasante natural, la calidad de los materiales de las canteras, la demanda específica de tráfico en el tramo (menor o mayor a 50), y decidir el espesor necesario de la nueva estructura de la capa granular de rodadura. De no haber disponibilidades de gravas de fácil uso a distancias económicamente razonables, se podrá recurrir a procedimientos de estabilización de los suelos naturales: con cal, sal, cemento, estabilización química (según norma MTC E 1109), según sea el caso.

1.2.6 Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos pueden ser correlacionadas con otras propiedades físicas y mecánicas fundamentales como la resistencia, la permeabilidad y la relación densidad-humedad, por ejemplo. Las principales son: peso específico de sólidos, contenido de humedad, peso unitario (densidad), granulometría, plasticidad (límites de Atterberg).

1.2.6.1 Relaciones peso – volumen

El suelo es un sistema de tres fases perfectamente diferenciables: la sólida (partículas minerales), la líquida (agua generalmente) y la gaseosa (aire o gas). Las propiedades físicas se expresan, básicamente, a partir de las relaciones entre las tres fases; así, la relación peso-volumen, (relaciones en volumen y relaciones en peso), la densidad o compacidad relativa, granulometría y plasticidad. (Das, 2001) en (Najar y Manuyama, 2022).

Las relaciones en volumen son: índice de poros, porosidad y grado de saturación; y, las relaciones en peso: humedad, peso específico de las partículas sólidas, peso específico del agua, peso específico seco, peso específico aparente y peso específico saturado (Das, 2001) en (Najar y Manuyama, 2022).

La gravedad específica de los sólidos (MTC E113-2000). Los límites de Atterberg: Límite líquido, límite plástico y determinación del Índice de plasticidad (MTC E110 y MTC 111, ASTM D 4318-95 A). Su determinación es muy importante y constituye parte de ensayos rutinarios en los laboratorios de Mecánica de Suelos.

1.2.6.2 Densidad o compacidad relativa

Esta magnitud está definida como:

$$D_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \times 100 = \frac{\gamma_{dm\acute{a}x}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{dm\acute{i}n}}{\gamma_{dm\acute{a}x} - \gamma_{dm\acute{i}n}} \times 100$$

Donde:

$e_{m\acute{a}x}$: Índice de huecos del suelo en el estado más suelto

$e_{m\acute{i}n}$: Índice de huecos del suelo en el estado más denso

e : Índice de huecos in situ

γ_d : Peso específico seco in situ

$\gamma_{dm\acute{a}x}$: Peso específico seco en el estado más denso ($e_{m\acute{i}n}$)

$\gamma_{dm\acute{i}n}$: Peso específico seco en el estado más suelto ($e_{m\acute{a}x}$)

En la tabla siguiente se indican las denominaciones de la compacidad de los suelos granulares a partir de su densidad relativa:

Tabla 3. Densidad relativa vs compacidad de suelos granulares

Densidad relativa (%)	Denominación
0-15	Muy suelto
15-35	Suelto
35-65	Medio
65-85	Denso
85-100	Muy denso

Fuente: Das, 2001

1.2.6.3 Granulometría y análisis granulométrico

La Granulometría es una propiedad física fundamental de los suelos, que se usa con frecuencia para correlacionar con otras propiedades del material. El análisis granulométrico de un suelo es usado para clasificar un suelo, permite, fundamentalmente, conocer la distribución, en porcentaje, de los distintos tamaños de partículas dentro del suelo y constituye parte de las especificaciones de los suelos en diseño y construcciones de obras viales. (Muelas s.f). La distribución granulométrica de partículas de tamaño superior a 0,08 mm se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08 mm: tamaño menores que la malla N° 200) se emplea los ensayos de granulometría por sedimentación (análisis de hidrómetro) (Muelas s.f). Menéndez (2016), recomienda calibrar permanentemente los tamices menores al N° 40.

Para el análisis granulométrico aplicar las normas MTC E 107-2000 por tamizado se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasánd, ASTM D-422-69 y ASTM 2217-85. El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas), (Muelas s.f).

Una vez determinada dicha curva granulométrica, existen dos coeficientes utilizados para una mejor descripción de la granulometría de un suelo (Muelas s.f). Estos coeficientes son:

- **Coeficiente de uniformidad:** $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
- **Coeficiente de curvatura:** $C_c = \frac{(D^2)_{30}}{D_{60} \times D_{10}}$

El C_u representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% de material y el diámetro correspondiente al

tamiz por el que pasa un 10%. (Das, 2001). El C_c llamado, también de graduación, se determina dividiendo el cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% del material, entre el producto de los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasa un 60% y un 10% del material. (Muelas s.f). Se considera suelo bien graduado, si el coeficiente de curvatura adopta valores entre 1 y 3. El análisis granulométrico por sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0,08 mm) se lleva a cabo con el hidrómetro, y se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua. El hidrómetro está calibrado para mostrar la cantidad de suelo que está aún en suspensión en cualquier tiempo dado, t. (Das, 2001). El diámetro máximo de las partículas de suelo, aún, en suspensión en el tiempo t se determina mediante la ley de Stokes:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Donde:

D = diámetro de la partícula de suelo

G_s = peso específico de los sólidos

η = viscosidad del agua

γ_w = peso específico del agua

L = longitud efectiva (longitud medida de la superficie del agua en la probeta al centro de gravedad del hidrómetro).

t = tiempo

Las partículas de suelo con diámetros mayores que los calculados con la ecuación anterior se habrán asentado más allá de la zona de medición. Así, con lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado puede calcularse. A partir de los diámetros se prepara una gráfica de la distribución granulométrica de los suelos (Das, 2001).

Los Procedimientos para la determinación de los tamaños de partículas menores a 0.074 mm, da la velocidad de sedimentación de

partículas sólidas esféricas en un líquido. Para Crespo Villalaz (2007), la velocidad de sedimentación está dada por la fórmula:

$$v = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 (D_a - D_w)}{9 \cdot \rho} = \frac{H}{t}$$

En la que:

v = Velocidad de caída de las partículas en cm/seg.

g = Aceleración de la gravedad en cm/seg²

r = Radio de la esfera en cm

D_a = Densidad absoluta del material en g/cm³

D_w = Densidad absoluta del agua en g/cm³.

ρ = Viscosidad absoluta del agua en g/cm.seg

H = Altura de caída de la esfera en cm

t = Tiempo transcurrido, en seg.

Con agua a 20°C, $\rho = 0.0101$ g/(cm.seg) y con esferas de densidad absoluta de 2.65 g/cm³, que es un valor medio entre los minerales que se encuentran en el suelo, la fórmula anterior se transforma, quedando:

$$v = 35,613.86 r^2$$

Con los dos métodos de análisis granulométrico expuestos, tanto el por tamizado, como con el hidrómetro, puede determinarse la curva granulométrica completa de una muestra de suelo areno limo arcilloso (ver curvas granulométricas adjuntas).

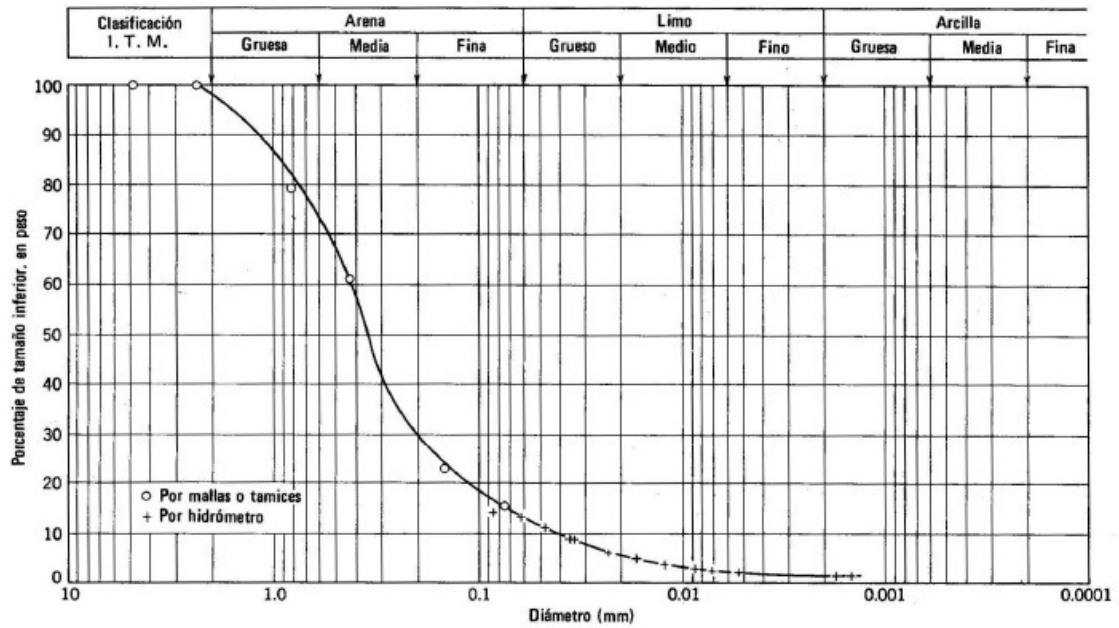


Figura 1. Curva granulométrica de un suelo

Fuente: Lambe, 1951.

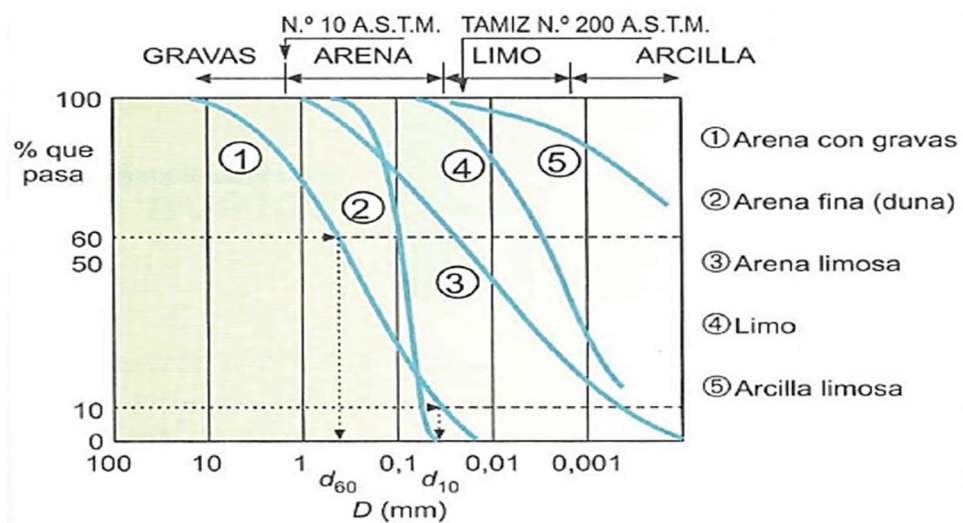


Figura 2. Curvas granulométricas

Fuente: Muelas s.f.

1.2.6.4 Consistencia y Plasticidad de suelos

El índice de consistencia da una idea del estado natural del terreno, en función a su humedad natural. Este índice se debe evaluar cuando la

humedad natural de un suelo cohesivo obtenido en laboratorio es cercano al límite plástico y/o límite líquido. El índice de consistencia varía entre 0 y 1 y es un indicador de la consistencia potencial del material, de tal manera que el suelo se considera más consistente según el valor de dicho índice se acerca a 1 o sobrepasa este valor.

Se calcula restando del límite líquido el contenido de humedad y a esa diferencia dividiéndola entre el índice de plasticidad.

Tabla 4. Clasificación por índice de consistencia

Ic	Consistencia del suelo
0.00 - 0.25	Muy blanda
0.25 - 0.50	Blanda
0.50 – 0.75	Rígida
0.75 – 1.00	Muy rígida
>1.00	Dura

Fuente: (Menéndez, 2016, p.80)

La plasticidad, es la variación de la consistencia en función de la humedad, es propia de las arcillas y limos (suelos finos), ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta” (Jara, 2014). Si un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua (Das, 2001). Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan Límites de Atterberg (Lambe & Whitman, 1995). El concepto de que un suelo puede presentarse en varios estados, en función del contenido de humedad, se basa en que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el comportamiento del suelo al de un líquido (Jara, 2014). (Najar y Manuyama, 2022).

La determinación de los Límites de Atterberg se lleva a cabo en laboratorio, definiéndose el límite plástico como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm de diámetro. El límite líquido del suelo, se determina utilizando la copa de Casagrande (Designación de Prueba D -4318 de la ASTM) (Das, 2001). La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como Índice de Plasticidad (Das, 2001):

$$IP = LL - LP$$

El índice de liquidez o fluidez se define como:

$$I_L = \frac{W_n - W_p}{W_L - W_p}$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido (Lambe & Whitman, 1995).

Con el fin de proporcionar una representación adecuada de la plasticidad de una muestra de suelo se emplea la denominada "Carta de Plasticidad de Casagrande" (Muelas, s.f.). Muelas (s.f.), indica que, en este gráfico, se representa la relación del límite líquido (abscisas) con el índice de plasticidad (ordenadas). Casagrande definió que los suelos con $LL > 50$ son de "alta plasticidad" (pueden admitir un mayor contenido de agua y por tanto pueden experimentar deformaciones plásticas mayores).

Los suelos con $LL < 50$ se denominan de "baja plasticidad". Complementariamente, el Ing. Casagrande, definió una línea A, que separa los suelos arcillosos de los más limosos. Así, a partir del criterio de alta y baja plasticidad y de la línea A, se pueden definir varias zonas. Los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido al estado líquido (menor índice de plasticidad), situándose por debajo de la línea A. En el caso de las arcillas, dicho intervalo de humedad es mayor, situándose por encima de la línea A.

Se definen, por tanto, varios tipos de suelos: arcillas de alta plasticidad (CH), arcillas de baja plasticidad (CL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) y limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) (Muelas, s.f.).

1.2.6.5 Clasificación de suelos

Por su granulometría los suelos se clasifican en cuatro grandes grupos: gravas, arenas, limos y arcillas o sus combinaciones. Las arcillas, son los materiales cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0.002mm, y, están constituidos por minerales de silicatos, los que estructuralmente conforman cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos.

Los sistemas de clasificación de suelos son tan antiguos como la propia Mecánica de Suelos, y hoy, para muchos ingenieros ya es evidente que el sistema de clasificación debe agruparlos de acuerdo con sus propiedades mecánicas básicas, e incluir un suelo en particular en un grupo representativo de suelos que presenten comportamiento semejante, dado sus propiedades geotécnicas similares, por ser éstas lo que interesa para las “aplicaciones ingenieriles” y no únicamente que se encuentre relacionado con el tamaño de las partículas constitutivas de esos suelos o fracciones, pues la correlación de la distribución granulométrica con otras propiedades fundamentales de los suelos es demasiado insegura y sujeta a excepciones y casos especiales

(Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995). (Kramer, 2009).

Las propiedades básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los Límites de Atterberg, el contenido en materia orgánica, etc. “La clasificación de suelos constituye una ayuda valiosa para el ingeniero, le da indicaciones generales, transformando de manera empírica los resultados de la experiencia de campo. (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995); aunque, la resolución de problemas de flujo, asentamiento o estabilidad únicamente a partir de clasificaciones puede

llevarle a resultados desastrosos". (Lambe, T.W. & Whitman, R, 1995).

Los dos sistemas principales de clasificación de suelos, actualmente usados, son el SUCS (Unified Soil Classification System) y el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Muelas s.f). Sin embargo, el sistema AASHTO es esencialmente para el diseño y construcción de carreteras y pavimentos, mientras que el Unificado no presenta restricciones de ningún tipo y su empleo es más general. (Najar y Manuyama, 2022)

1.2.6.5.1 El Sistema de clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) fue presentado por Arthur Casagrande. Clasifica los suelos en base a su granulometría, los Límites de Atterberg y el contenido de materia orgánica. Según Muelas, (s.f), abarca solo gravas, arenas, suelos limosos y arcillosos.

Este sistema es el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos de ingeniería (permeabilidad, resistencia y compresibilidad de diversos tipos de suelos de cada grupo para su empleo en presas de tierra, canales, cimentaciones y pistas de aeropuertos). (Muelas, s.f)

Tabla 5. Agrupación granulométrica de suelos: cuatro grandes grupos.

Tipo de Suelo	Descripción	Tamaño
Gravas	Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua.	80 mm. y 4,75 mm
Arenas	Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua.	4,75 mm. y 0,075 mm
Limos	Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exuda con facilidad.	0,075 mm y 0,002 mm

Arcillas	Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatos, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños, pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es levado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados, y una permeabilidad muy baja (Muelas s.f.).	Tamaños inferiores a 0,002 mm
----------	---	-------------------------------

Fuente: (Crespo, 2007), en (Najar y Manuyama, 2022).

Tabla 6. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; Límites de Atterberg sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; Límites de Atterberg debajo de la línea A (véase zona ML en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
OL	Orgánico; $(LL \text{ no secado en horno}) / (LL \text{ secado en horno}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI debajo de la línea A (véase zona MH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
OH	Orgánico; $(LL \text{ no secado en horno}) / (LL \text{ secado en horno}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)
CL-ML	Inorgánico; $LL > 50$; $4 \leq PI \leq 7$; Límites de Atterberg arriba de la línea A. Se grafica en la zona sombreada en la Carta de Plasticidad de Casa Grande)

Fuente: (Das, 2001)

1.2.6.5.2 El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

(Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) fue, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico. Actualmente es usado principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de los terraplenes de carreteras, subrasantes, subbases y bases de pavimentos.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material -bueno- para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material -muy malo- para la construcción de carreteras. Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos están constituidos principalmente por limo y arcilla. (Najar y Manuyama, 2022)

El sistema de clasificación AASHTO, clasifica a los suelos en tres principales categorías: **1. Suelos granulares:** Son suelos cuyo porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es menor o igual al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-1, A-2 y A-3. **2. Suelos limo-arcilla o material fino:** Son suelos cuyo porcentaje que pasa el tamiz N° 200 es mayor al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. **3. Suelos orgánicos:** Son los suelos que están constituidos principalmente por materia orgánica. Este tipo de suelo constituye el grupo A-8.

El sistema adopta el siguiente rango de tamaño de partículas: **1. Cantos**

rodados: Son fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en el tamiz de 3" (75 mm); de encontrarse partículas mayores de 75 mm (guijarros y cantos rodados), éstas son excluidas de la muestra de suelo que será clasificado, sin embargo, el porcentaje de ese material se mide y anota junto con el resultado de la clasificación. **2. Grava:** Es la fracción que pasa el tamiz de 3" (75 mm) y es retenido en el tamiz N° 10 (2 mm). **3. Arena:** Es la fracción que pasa el tamiz N° 10 (2 mm) y es retenido en el tamiz N° 200 (0.075 mm). **4. El limo y la arcilla:** Son partículas que pasan el tamiz N° 200 (0.075 mm).

Asimismo, establece un rango del índice de plasticidad que diferencia a los suelos limosos de los suelos arcillosos: El término **limoso** es aplicado a la fracción fina del suelo que tiene un índice de plasticidad de 10 o menos. El término **arcilloso** es aplicado cuando la fracción fina tiene un índice de plasticidad de 11 o más.

Ecuación empírica del índice de grupo

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F_{200} - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F_{200} = Porcentaje que pasa la malla N° 200, expresado como # entero

LL = Límite Líquido

IP = Índice de plasticidad

El primer término de la ecuación: " $(F_{200} - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)]$ " es el índice parcial de grupo determinado con el límite líquido. El segundo término: " $0.01 (F_{200} - 15)(IP - 10)$ " es el índice parcial de grupo determinado con el índice de plasticidad. Sin embargo, también se puede determinar el índice de grupo a partir del ábaco mostrado para el cálculo del Índice de Grupo (Norma ASTM, 2003). (Najar y Manuyama, 2022)

Si el suelo no es plástico y no se puede determinar el Límite líquido, entonces el índice de grupo (IG) será: $IG = 0$. Este es el caso de los suelos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3, en donde su índice de grupo siempre es cero. (Najar

y Manuyama, 2022).

Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a los suelos limosos, entre 8 y 12 y los suelos arcillosos, entre 11 y 20, o más. Los valores del índice de grupo, se utilizan solo para comparar suelos dentro el mismo grupo y no entre grupos diferentes; así por ejemplo, no se pueden comparar un suelo A-3 (0) y un suelo A-2-7 (3), por el valor del índice de grupo; sin embargo, si se pueden comparar un suelo A-3 (0), con un suelo A-3 (3), donde el suelo A-3 (0) es de mejor calidad que el suelo A-3 (3), por tener este un valor del índice de grupo menor ($0 < 3$). (Najar y Manuyama, 2022)

La ecuación empírica del índice de grupo diseñada para conseguir una evaluación aproximada de los suelos del mismo grupo, en los materiales granulares arcillosos, y los materiales limo arcillosos, se basa en las siguientes suposiciones (Najar y Manuyama, 2022):

- Los materiales que se encuentran en los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son apropiados para su uso como subrasantes cuando están adecuadamente drenados y compactados y el espesor de la capa de pavimento es moderado (base y carpeta de rodadura), así como también el tráfico que soportará sea adecuado; también este material puede lograrse por adiciones de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales.
- Los materiales granulares arcillosos de los grupos A-2-6 y A-2-7 y los materiales limosos y arcillosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, pueden clasificarse para su utilización en subrasantes desde adecuadas como materiales de subbase equivalentes a las categorías A-2-4 y A-2-5, hasta regulares e inadecuadas hasta el punto de requerir una capa de subbase o una capa mayor de subbase que la requerida en el anterior caso (1), para proporcionar un adecuado soporte a las cargas de tráfico.
- Se supone que un 35% o más de material que pasa el tamiz N° 200 (0.0075 mm.) es crítico si se omite la plasticidad, pero el

mínimo crítico es solo el 15% cuando se ve afectado por el IP mayor que 10.

- Se supone que el LL igual o mayor que 40% es crítico. El IP igual o mayor que 10% es crítico.

1.2.6.5.3 Comparación entre los sistemas SUCS y AASHTO

El sistema AASHTO considera como suelo fino si más del 35% del total de la muestra de suelo pasa por el tamiz N° 200, en tanto el sistema Unificado lo hace si más del 50% de la muestra de suelo pasa por el mismo tamiz. En el sistema AASHTO el tamiz N° 10 es el que separa la grava de la arena mientras que en el unificado es el tamiz N° 4. (Najar y Manuyama, 2022)

En el sistema Unificado los suelos gravosos de los arenosos están muy claramente separados, mientras que en el sistema AASHTO no lo están. El grupo A-2 en particular contiene una amplia variedad de suelos gravosos y arenosos. En el sistema Unificado los símbolos GW, SM, CH y otros son usados para una mejor descripción de las propiedades de los suelos, mientras que los símbolos de grupo A del sistema AASHTO no son tan descriptivos en este aspecto. (Najar y Manuyama, 2022)

En el sistema Unificado se puede clasificar a los suelos orgánicos como OL, OH y Pt; mientras que en el sistema AASHTO no se los toma en cuenta en el proceso de clasificación, y se los deja con el grupo A-8, que no figura en las tablas de clasificación. (Najar y Manuyama, 2022)

Liu (1967) analizó comparativamente diversos aspectos asociados a los sistemas de clasificación de suelos AASHTO y Sistema Unificado SUCS, destacando las valoraciones: *más probable*, *posible* y *posible pero improbable*, frente a lo cual Holtz et al (2011), mencionan que el propósito original del Sistema AASHTO fue de utilidad para determinar la calidad de materiales a ser empleados en rellenos, sub bases y bases de pavimentos y subrasantes.

Tabla 7. Tabla. Aspectos asociados al Sistema AASHTO vs Sistema SUCS

Grupo de suelo de sistema AASHTO	Grupos de suelos comparables en el Sistema Unificado SUCS		
	Más probable	Posible	Posible pero improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, BM
A-1-b	BW, BP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP.
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP.
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP.
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Fuente: Liu (1967)

* después de Liu (1967)

Tabla 8. Comparación entre la clasificación Sistemas SUCS y AASHTO

Grupo de suelo Sistema SUCS	Grupos de suelos comparables en el Sistema AASHTO		
	Más probable	Posible	Posible pero improbable
GW	A-1-a	-----	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	---
CL	A-6, A-7-6	A-4	---
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	---

MH	A-7-5, A-5	----	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	---
OH	A-7-5, A-5	----	A-7-6
Pt	----	----	----

Fuente: (Bardet, 1997)

1.2.6.5.4 El Sistema Northcote de clasificación de suelos con fines de estabilización

El **Sistema Northcote**, se basa en la textura, es decir en el tamaño, forma y arreglo de las partículas. Entendiéndose el concepto de *textura* desde el punto de vista geotécnico, a la forma en que están agregadas las partículas de arena, limo y arcilla. Asimismo, se subdivide a estos suelos en subgrupos de acuerdo con algunas características visibles tales como el color, presencia de concreciones, rellenos en las grietas o fisuras, etc., así como con características no detectables a simple vista como el nivel de alcalinidad o acidez, cuyo valor permite caracterizarlo mejor; y, es sabido que, mientras mejor se conozcan las características físicas y químicas de un suelo mejor se puede emprender el estudio de la estabilización.

El Sistema Northcote, para la determinación de la composición y propiedades esperadas en un suelo cumple el siguiente proceso: **1º**. Reconocimiento visual y manual; **2º**. Determinación del tipo de minerales que contiene el suelo, pues de ellos depende en forma directa la estabilidad volumétrica, la cohesión y, en especial la reactividad a la estabilización. Es determinante, para la estabilización de suelos, el reconocimiento de los minerales presentes en éstos, aunque, de los cientos de minerales que se han encontrado en los limos y arcillas contenidos en un suelo, basta para fines prácticos e ingenieriles, el reconocimiento de la existencia de al menos de diez de ellos.

Los tipos de minerales se pueden determinar con microscopios electrónicos, difracción de rayos X, espectrometría con rayos infrarrojos y

análisis químicos; sin embargo, a la mayoría de los minerales de un suelo se pueden reconocer con cierto grado de aproximación en base a observaciones y pruebas sencillas de campo; pero, para lograr que el reconocimiento de los suelos sea más efectivo debe complementarse con el conocimiento de las propiedades del suelo y de sus componentes a través de los ensayos antes citados. Álvarez (2000) en (Salas, 2017).

El método Northcote se basa en tres premisas que según Álvarez (2000) son las siguientes: **1°**. Observaciones generales del lugar y del perfil de suelos. Es necesario efectuar pozos a cielo abierto o extraer muestras inalteradas. Es de utilidad el análisis de cortes existentes en la región o extraer muestras alteradas, en donde se toma nota de los colores del suelo y del agua en los encharcamientos cercanos. **2°**. Apreciación de la textura del suelo. La textura del suelo puede estimarse con la inmersión del espécimen del suelo, completamente en agua de lluvia o destilada. EL procedimiento que se recomienda se le ha designado como “prueba del grumo”. No se deben agregar agentes dispersantes, ni humedecedores. El procedimiento consiste en colocar un pequeño grumo de suelo secado al aire (aproximadamente del tamaño de un frijol) dentro de un vaso de vidrio claro lleno de agua destilada o de lluvia. Es muy importante que no se altere el grumo en ninguna forma, salvo el secado, antes de su inmersión en agua. Se observa el comportamiento del grumo, después de la inmersión, durante un lapso de hasta 10 minutos. (Álvarez, 2000).

Deben anotarse todas las observaciones de campo en forma apropiada. Álvarez (2000) recomienda registrar los siguientes datos: **1**. Coordenadas UTM de su localización. **2**. Profundidad a partir de la superficie. **3**. Color. Cuando se presenten motas, anotar sus coloraciones. **4**. Inclusiones. Indicar si se trata de carbonatos, hierro, raíces, materia orgánica. **5**. Textura y consistencia. **6**. Dispersión en agua. **7**. Tipo de perfil. **8**. Geología. Tipo de rocas o formaciones en la región. **9**. Aguas superficiales. Coloración, turbidez, etc. **10**. Erosión. Tipo de erosión. **11**. Presencia de deslizamientos. **12**. Micro relieve en los suelos. **13**. Mineral inferido.

La dispersión se detecta mediante la formación de halos, alrededor de cada grumo, fácilmente visibles contra un fondo oscuro, mientras más pronunciados sean los halos, más alta será la dispersión. El asentamiento del suelo en el líquido que permanece claro durante menos de 10 minutos será un signo de la ausencia de dispersión. Si no se reconoce fácilmente la presencia de carbonatos, esta se puede verificar mediante la efervescencia del suelo al colocar una gota de ácido en éste (ácido de una batería puede ser suficiente). La finalidad de reconocer a los suelos tanto visual como manualmente es permitir tomar decisiones lógicas respecto al tipo de estabilización más adecuado, así como las pruebas a efectuar. Álvarez (2000) en (Salas, 2017). (Najar y Manuyama, 2022).

1.2.7 Análisis de materia orgánica: Método de Walkley y Black

La materia orgánica es una mezcla heterogénea de sustancias de origen vegetal, animal y microbiana que, dentro del suelo, influyen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Previamente a la determinación de materia orgánica se debe estar seguros que no existen sales de cloro ya que pueden ser la fuente de error, en caso que existan se deben eliminar las sales solubles antes de la determinación.

El método se basa en la oxidación por medio del Dicromato de Potasio que reacciona en un volumen con dos de ácido sulfúrico concentrado. El exceso de dicromato de potasio se determina valorando con solución de sulfato ferroso amoniacal en presencia como indicador difenilamina sulfúrica.

Tabla 9. Niveles de Materia Orgánica

Niveles de contenido	Porcentaje de materia orgánica
Bajo	0 - 2
Medio	2 - 4
Alto	Más de 4

1.2.8 Propiedades físicas y químicas y tipos de arcillas

Las partículas arcillosas tienen un tamaño del orden de las 2 micras (0.002 mm) o menores y presentan una actividad eléctrica importante que rige su comportamiento, dada su gran superficie específica en relación con su volumen, y aun con su masa. En los suelos arcillosos predominan las fuerzas eléctricas y están compuestos predominantemente por minerales cristalinos, algunos de los cuales tienen muy poca actividad superficial por lo que no contribuyen a los efectos conocidos como plasticidad y cohesión, como pueden ser el cuarzo y la calcita, por ejemplo. Los minerales cristalinos cuya actividad superficial es tal que se presenta plasticidad y cohesión, podemos denominarlos como arcillosos, existen aproximadamente 15 minerales de este tipo, pero se pueden agrupar en 3 grupos dominantes, a saber: Caolinita, Montmorilonita e Illita (Fernández, 1991). Para estabilizar caolinitas se puede emplear arena, cemento, cal; para illitas se recomienda cemento y cal; y, para Montmorilonitas es recomendable utilizar cal. (Le Roux y Riviere, s.f.)

1.2.9 Estabilización de suelos

“La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Las estabilizaciones con materiales como el cemento, cal, asfalto y otros productos que, se realizan en los suelos de la subrasante por inadecuados o por su pobre capacidad, en este caso son conocidas como estabilización suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto, etc. En cambio, cuando el tratamiento se realiza a los materiales de una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.)” (Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos (MTC, 2013)).

(Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008), definen la estabilización, como el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. La estabilización significa, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino

también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo. (Márquez, 2005). Para el MTC (2013): “La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación” (Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013)).

Los suelos con contenidos apreciables de arcillas y limos, presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras, dentro de las cuales en los caminos se presentan las mayores exigencias por su exposición al clima, debido a que estos suelos poseen elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (expansión y contracción) (Beltrán y Copado, 2011) en (Najar y Manuyama, 2022).

1.2.9.1 Mejoramiento de propiedades por estabilización del suelo para pavimentos

Para la construcción de pavimentos “Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR igual o mayor a 6%”. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, (...). La subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática, como mínimo a 0.60 m (subrasante muy buena); a 0.80m (subrasante buena y regular); 1.00m (subrasante pobre); y 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. (Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013)).

La estabilización mejora las siguientes propiedades de los suelos:

Estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad, durabilidad.

a. Estabilidad volumétrica

La expansión y contracción de muchos suelos se origina por los cambios de humedad. (Montejo, 2008). Los suelos que varían altamente su volumen en función de la humedad, son llamados expansivos, éstos se presentan con mucha frecuencia en la selva peruana donde los suelos se expanden y se contraen ocasionado por los cambios de humedad, debido a las lluvias permanentes, por lo cual se debe tener especial cuidado en el diseño y construcción de vías en esta región (Vásquez, 2010).

Soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión expansiva interna, utilizar membranas impermeables y apoyar la estructura a profundidades tales que no se registre variación estacional en la humedad. Un medio más podría consistir en modificar la arcilla expansiva transformándola en una masa rígida o granular, esto puede lograrse por medios químicos o térmicos (Martínez, 2012).

También se puede aumentar la impermeabilidad de un suelo y por ende reducir la velocidad de cambio volumétrico en suelos expansivos, compactándolos a pesos volumétricos altos, pero teniendo presente que la humedad de compactación juega un papel preponderante en el fenómeno de los cambios volumétricos (Martínez, 2012).

b. Resistencia

Es la capacidad del suelo a evitar su deformación y falla ante una carga; generalmente es en general más baja cuanto mayor sea su contenido de humedad salvo en el caso de un suelo cohesivo que al secarse y no estar confinado se agrieta y termina comportándose como un suelo friccionante, lo que deviene en derrumbes (Montejo, 2008). Los suelos arcillosos al secarse, alcanzan grandes resistencias teniéndose inclusive la condición más alta de

resistencia cuando se calientan a temperaturas muy elevadas como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos (Martínez, 2012).

Se ha visto que en suelos finos tiene una importancia decisiva la forma de aplicación de la energía de compactación, sobre todo cuando se emplean humedades más altas que la óptima.

Si el suelo estabilizado va a permanecer húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada, por el contrario, si el suelo permanecerá seco y agrietado, probablemente sea más efectivo efectuar pruebas, con cargas repetidas para estudiar efectos de disgregación y pulverización. Para suelos de textura abierta y mal graduados sería más importante determinar su susceptibilidad a recom pactarse provocando con ello deformaciones en las estructuras sobre las cuales se apoyen (Martínez, 2012).

Algunas veces resulta muy difícil incrementar la resistencia de un suelo mediante la adición de agentes estabilizantes, tal es el caso de los suelos con alto contenido de humedad, del orden de 10 %, ya que esta acción inhibe la acción de tales agentes (Martínez, 2012).

El incremento en el peso volumétrico de un suelo orgánico mediante la compactación, se ha considerado, en general, como un incremento en la resistencia. Algunos de los procedimientos utilizados para incrementar el peso volumétrico de un suelo; según Martínez (2012) son: Compactación mediante amasado, vibración o impactos; vibroflotación; precarga; drenaje; adición de agentes que reduzcan la fricción y cohesión entre las partículas.

Resulta un tanto evidente que los procedimientos que sirvan para mantener a un suelo sin que se produzcan cambios volumétricos, son también adecuados para mantener la resistencia en el suelo como lo es la adición de agentes que transformen a un suelo fino en una masa rígida o granular (Martínez, 2012).

c. Permeabilidad

En los suelos la permeabilidad deriva en dos problemas básicos: la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo del agua a través de los poros del suelo. El tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en terracerías y el flujo de agua puede generar en arcillas, tubificaciones y arrastres (Martínez, 2012).

Si se compacta un suelo con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá finalmente una alta permeabilidad en el suelo debido a los grumos que no se disgregan resistiendo al esfuerzo cortante de compactación y permitiendo que se forme con ello una gran cantidad de vacíos intersticiales. Mientras más alta sea la humedad de compactación se reducirá la permeabilidad en el suelo compactado, ya que éste tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos (Martínez, 2012). Los métodos de estabilización para modificar la permeabilidad de un suelo, no necesariamente mejoran su estabilidad volumétrica o resistencia mecánica y en algunos casos inclusive puede resultar contraproducente a estos aspectos (Martínez, 2012).

Se puede reducir la permeabilidad de un suelo mediante la inyección de lechadas, sin embargo éstas al no sellar perfectamente los poros, solamente se logra disminuir el gasto y el flujo sin lograr una impermeabilidad adecuada; aunque, en materiales arcillosos, el uso de floculantes puede reducir la permeabilidad también significativamente, y algunas sustancias defloculantes como el polifosfato de sodio pueden sellar perfectamente los poros de un suelo (Montejo, 2008), (Martínez, 2012).

d. Compresibilidad

Es una propiedad donde se observa el cambio volumétrico de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten (Vásquez, 2010). Las arcillas en general se caracterizan por su gran compresibilidad y poder de retención de agua, lo cual puede ocasionar grandes problemas de deformación en la estructura del pavimento. (Menéndez, 2016, p.

80). La compresibilidad del suelo se puede evaluar mediante el índice de compresión que se estima con la siguiente expresión:

$$C_c = 0.009(LL-10)$$

Donde: C_c = índice de compresión; LL= Límite líquido.

Para C_c comprendido entre 0.00 a 0.19, 0.20 a 0.39 y > 0.40 la compresibilidad es baja, mediana y alta, respectivamente. (Menéndez, 2016, p.80)

La compresibilidad de un suelo depende de factores tales como la relación de la carga aplicada respecto a la que el suelo soportaba anteriormente, tiempo de aplicación de la carga una vez que se ha disipado la presión de poro en exceso de la hidrostática, naturaleza química del líquido intersticial, entre otros; existiendo variaciones importantes según sea el factor causante que predomine (Martínez, 2012). Estos cambios en volumen por compresibilidad, alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que implica modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y provocan deslizamientos (Vásquez, 2010), (Martínez, 2012).

e. Durabilidad

En los suelos estabilizados, al igual que en todos los materiales de construcción, la condición de durabilidad es definida como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión (Martínez, 2012). De esta manera, en la infraestructura de transporte, los problemas de durabilidad están relacionados a las capas superficiales del pavimento en especial al nivel de rodadura (Vásquez, 2010). Martínez (2012), señala que la durabilidad está referida no solo las capas superficiales, sino también a las capas internas o profundas en los terraplenes o cortes.

En los suelos estabilizados la durabilidad baja se debe generalmente a un diseño deficiente que puede tener su origen en una mala elección de un

estabilizante, o también al uso de una cantidad insuficiente de estabilizante. La durabilidad es pues uno de los factores más difíciles de cuantificar y la reacción común ha sido la de sobrediseñar los materiales o sobredimensionar la estructura, lo cual a veces no puede ser lo correcto (Martínez, 2012).

En el diseño de la estabilización de un suelo las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad, se puede presentar el caso de que el mejoramiento de alguna de esas propiedades, provoque que otras características resulten en condiciones desfavorables, esto es especialmente cierto en el caso de la estabilización mediante la compactación (Martínez, 2012).

1.2.9.2 Uso específico de la estabilización en la estructura del pavimento

El diseño de pavimentos se basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto, cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008). (LANAMME. Universidad de Costa Rica)

Entonces, la calidad de la capa de suelo puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas. (LANAMME. Universidad de Costa Rica)

Los dos usos principales de la estabilización son:

a. Mejoramiento de la calidad

Una de las principales mejoras que se logran a través de la estabilización de la subrasante es en cuanto a la graduación del suelo. Igualmente se logra reducir el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. (LANAMME. Universidad de Costa Rica).

Por otro lado, se incrementa su durabilidad y dureza. En climas húmedos la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más apta para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejoras pueden ser llamadas: “modificación del suelo”. (Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas, 2008), (LANAMME. Universidad de Costa Rica).

b. Reducción del espesor

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos; en consecuencia, el material estabilizado garantiza mayor competencia frente a los esfuerzos, deformaciones y desgaste, resultados que permiten la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base o la subbase pueden ser reducidos si el material estabilizado presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerido. (Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas, 2008), (LANAMME. Universidad de Costa Rica).

1.2.10 Métodos de estabilización de suelos

Son varios los procedimientos para modificar un suelo natural, y someterlo a tratamiento. (Gárnica, et al., 2002). El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. (Torrente & Sagúes, 1947) en (Gutierrez, 2010). A continuación, se presenta estos métodos y los procedimientos para el mejoramiento de los suelos con fines de uso vial:

Tabla 10. Métodos de mejoramiento de suelos por estabilización

Métodos	Físicos	Confinamiento (suelos no cohesivos).
		Preconsolidación (suelos cohesivos).
		Mezclas (suelo con suelo).
		Vibroflotación.
	Químicos (Estabilizaciones)	Con cemento.
		Con asfalto.
		Con sal.
		Con cal.

		Con otras sustancias: (Sales como la Bischofita).
	Mecánicos	Compactación.

Fuente: *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*, Rico Rodriguez, Alonso y Del Castillo, Hermilio, Editorial Limusa S.A., 1974, México. (Gutierrez, 2010, p. 10)

Tabla 11. Procedimientos para modificar un suelo natural.

PROCEDIMIENTOS		
Procedimientos mecánicos (compactación):	Procedimientos físicos:	Procedimientos químicos (estabilizaciones):
Amasado (rodillos pata de cabra).	Mezcla (suelo con suelo)	Cal
Impactos de Carga (pisonos).	Confinamiento (suelos friccionantes)	Cemento Portland
Presión estática (rodillos lisos y neumáticos).	Consolidación previa (suelos finos arcillosos)	Ceniza volante
Vibración (rodillos vibratorios).	Vibroflotación	Asfaltos
Métodos Mixtos (combinación de los métodos anteriores).		Otros

Fuente: (Najar y Manuyama, 2022)

1.2.10.1 Estabilización química

“La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento, ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Directiva N° 007-2005-MTC/14: Evaluación de la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos)”.

Entre los productos químicos usados como estabilizadores de las vías no pavimentadas tenemos: los óxidos e hidróxidos de calcio, los cloruros de calcio (Ca), sodio (Na), los cloruros férricos; el silicato sódico, el cloruro de magnesio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) o Bischofita y las resinas. (Gutierrez, 2010).

Según, Perez (2012), la técnica de estabilización química de suelos se basa en la interacción de los elementos presentes en el suelo, de los componentes del medio ambiente y de la sustancia química estabilizadora. El suelo influye de acuerdo a su mineralogía, o sea, presencia de cuarzo y minerales de arcillas; el medio ambiente influye a través de la temperatura, agua, aire; y, si de cal se trata, ésta interactúa con el sistema debido a la presencia de óxido de calcio o magnesio. Esta interdependencia se manifiesta en función de las reacciones físicas, químicas y físico-químicas, predominantemente de las que ocurren entre la cal y el suelo. Así, el proceso de estabilización envuelve cuatro reacciones distintas que son: intercambio iónico, la floculación y aglomeración, reacciones puzolánicas y carbonatación.

(Salas, 2018), hace mención a los conceptos que Torrente & Sagúes (1947), introdujera sobre la estabilización química, en la que, hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. El diseño de estabilizaciones con agentes químicos estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y de acuerdo a ello determinar el tipo y cantidad de agente estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Las características principales de las sustancias químicas usadas como agentes estabilizadores son:

- Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

- **Productos Asfálticos:** Es muy usado para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de Sodio:** Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de Calcio:** Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo.
- **Escorias de Fundición:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Hule de Neumáticos:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

1.2.11 Respuesta de los suelos a la estabilización con aditivos en carreteras

En el cuadro siguiente se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos. Los aditivos, materiales o agentes a usarse en el proceso de estabilización de las carreteras no pavimentadas son clasificados tal como se detalla en los siguientes apartados.

Tabla 12. Respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos

Componente dominante	Estabilizante recomendado	Objetivos
Arenas	• Arcilla de baja plasticidad • Cemento Portland • Asfaltos	• Para estabilización mecánica • Incrementar el peso volumétrico de la cohesión • Incrementar la cohesión
Limos	• Dependerá del tipo de minerales que contenga	-----
Alófanos	• Cal	Acción puzolánica e incremento del peso volumétrico
	• Arena • Cemento Portland	• Para estabilización mecánica • Para resistencias tempranas

Caolín	• Cal	• Trabajabilidad y Resistencia tardía
Illita (mineral de arcilla)	• Cemento • Cal	• Para resistencias tempranas
Montmorilonita	• Cal	• Trabajabilidad y Resistencia tardía • Trabajabilidad y Resistencia, reducción de expansiones y contracciones

Fuente: Gárnica et al. *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*; pág. 10.

Pérez (2012), en su investigación señala: “En los suelos de fundación de baja capacidad de soporte, con presencia de arcilla débil o compresible se hace comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de baja capacidad de soporte y se los sustituye en todo su volumen y espesores considerables generalmente por grava arenosa, piedra triturada, arena, los cuales son compactados para aumentar la capacidad de carga (Kukko, 2000). Hoy día, a las cuestiones de costo, plazo y calidad en los procesos de ejecución de obras, se agrega como factores determinantes de optimización, la cuestión ambiental presente en la extracción y transporte del material de préstamo para la sustitución de los de mala calidad y los vertederos para depositar el material inapropiado. Por tanto, se hace cada vez más necesaria la utilización de todos los materiales que se encuentran directamente dentro del área de las propias obras, sean cuales sean sus propiedades. Ello obliga a un estudio detallado de sus propiedades para así adoptar los tratamientos y medidas necesarias a tomar en cuenta para lograr que su comportamiento sea satisfactorio durante la vida útil de la obra, y por supuesto, a un costo razonable (Beltrán y Copado, 2011).

La estabilización de suelos in situ, es la técnica de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que, al encontrarse en el sitio de la obra, no reúnen las condiciones necesarias para su utilización. Los medios para la estabilización de suelos van desde el reemplazo del material inadecuado hasta la incorporación de elementos químicos que al reaccionar con el suelo dan como resultado un suelo con mejores propiedades.

Con la estabilización de suelos in situ se pretende aumentar la resistencia mecánica de los suelos, se entrelazan las partículas de una forma

más efectiva y se aseguran que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos, para conseguir una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica; además, se produce un aumento de la durabilidad de dicha capa. Crea poco impacto ambiental, ya que ahorra transportar a un vertedero enormes volúmenes de material de excavación, y por otro, acarrear enormes volúmenes de material de préstamo.

Vásquez (2010), refiriéndose a estabilización de suelos, recalca la premisa: "No existe el Estabilizador que se aplique a los suelos y mejore todas sus propiedades". Existen muchos agentes estabilizantes que ofrecen diversas mejoras en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo, por lo que una adecuada selección del método de estabilización parte de reducir al mínimo los posibles agentes estabilizadores en función de las limitaciones de fuentes de materiales, clima, tráfico y las exigencias del diseño de pavimento y las mínimas afectaciones ambientales. (Vásquez, 2010).

El proceso de estabilización que inicialmente se aplicaba solamente a suelos y materiales de escasa calidad se ha extendido actualmente a capas granulares formadas por gravas de calidad tratadas. Hasta ahora los principales aditivos empleados han sido el cemento y la cal, sin embargo, la estabilización con estos aditivos aumenta los costos en la construcción y no controlan de manera satisfactoria la pérdida de humedad en los suelos utilizados para fundación de una construcción (Roldán de Paz, 2010).

1.2.12 Estabilización de suelos con productos químicos en carreteras

Según la sección 301.C del Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013) de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (MTC, 2013), esta actividad consiste en la construcción de una o más capas de suelos estabilizados con productos químicos, de acuerdo con estas especificaciones técnicas, así como de las dimensiones, alineamientos y secciones transversales indicados en el proyecto.

En las EG-2013 (MTC, 2013), se especifica:” Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica. La fracción inferior del tamiz de 425µm (N° 40) deberá presentar un Límite Líquido inferior a 40 y un índice plástico cuando menos de 6 pero no superior a 12%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E111. En cuanto a la composición química, la proporción de sulfatos del suelo, expresada como SO₄ no podrá exceder de 0,2% en peso (MTC, 2013).

Para Cristobal (2015): “La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas; para corregir este problema se usan variadas técnicas de estabilización de suelos; una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza, utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a estos suelos (carreteras) un mejor comportamiento en servicio”. (Cristobal, 2015)

1.2.13 Estabilización de vías No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, a través de la Dirección de Normatividad Vial que es la unidad orgánica encargada de la formulación de normas técnicas y administrativas para la gestión de infraestructura de caminos en febrero 2015, por Resolución Directoral N° 003 – 2015 – MTC/14 publicada en el Diario Oficial E.P de 6 de febrero 2015, aprobó el Documento Técnico: “Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas” (MTC, 2015), para dotar de mejores condiciones de transitabilidad (mejorar el nivel de servicio) y durabilidad (alargar la vida útil) a las carreteras no pavimentadas del Sistema Nacional de Carreteras (MTC, 2015).

Aun, las soluciones básicas en mención, impliquen una mayor inversión inicial por la incorporación de un material estabilizador al material conformante de la capa de rodadura con el empleo de equipos convencionales, tienen por finalidad, mejorar el nivel de servicio de las superficies de rodadura de las carreteras no pavimentadas, que sufren rápido deterioro por efecto del tránsito y

el clima, formándose baches, encalaminado, desprendimiento de agregados y emisión de polvo, posibilitando que dichas capas de rodadura tengan menor grado de deterioro, estén exentas de polvo, demanden menor frecuencia de mantenimiento periódico, y permitan el tránsito vehicular durante cualquier época del año.

El mejoramiento de la vida útil, está referida a incrementar el periodo de diseño de 5 años (afirmado) a 10 años (solución básica), y la posibilidad de programar las actividades de mantenimiento periódico en tiempos previsibles, lo que no ocurre actualmente con las capas de afirmado convencional (MTC, 2015).

La tabla siguiente contiene las especificaciones técnicas de los tipos de estabilizadores de suelos y los parámetros máximos y/o mínimos que deben cumplir los suelos estabilizados, tanto en el diseño como en la ejecución de una obra vial:

Tabla 13. Especificaciones Técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros

Suelo estabilizado con	Parámetros
Cemento	1. Resistencia a compresión simple = 1.8 MPa mínimo (MTC E1103)
	2. Humedecimiento – secado (MTC E 1104): - Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3 = 14% de Pérdida Máxima. - Para suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A5 = 10% de Pérdida Máxima. - Para suelos A-6; A-7 = 7% de Pérdida Máxima
Emulsión Asfáltica	1. Estabilidad Marshall =230 Kg mínimo (MTC E 504). 2. Pérdida de estabilidad después de saturado = 50% máximo. 3. Porcentaje de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla debe estar entre 50 y 100 %
Cal	1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132)

	2. Expansión $\leq 0.5\%$
Sales	1. CBR* = 100% mínimo, CBR no saturado (MTC E 115 E 132)
Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc)	1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión $\leq 0.5\%$

(*) CBR corresponde a la penetración de 0.1"

Fuente: Resolución Directoral N° 003-2015-MTC/14. (E.P. 6 /02/15)

1.2.13.1 Estabilización de suelos para subrasante, sub base o base

Con la estabilización de suelos para subrasante, sub base o base se logra esto se logran tres objetivos importantes: adecuada estabilidad ante las cargas, durabilidad de la capa y una variación volumétrica mínima. (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

Se identifican en el manual del MTC cinco categorías de subrasante:

S0 : subrasante muy pobre CBR < 3%

S1 : subrasante pobre CBR = 3% - 5%

S2 : subrasante regular CBR = 6 - 10%

S3 : subrasante buena CBR = 11 - 19%

S4 : subrasante muy buena CBR > 20%

La base de un pavimento es la capa de material que se construye sobre la sub base, que para que cumpla su función, debe tener:

- La resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos
- El espesor suficiente para que pueda resistir y transmitir las presiones a la sub base.
- No debe presentar cambios volumétricos perjudiciales (Mantener Estabilidad)

Los materiales con los que se construye son de mejor calidad que los de

la sub base.

1.2.13.2 Características de materiales para subrasante, sub base y base

Tabla 14. Características de materiales para Base

Características de materiales para Base de Pavimentos	
Límite líquido máximo	25%
Índice plástico máximo	6%
Partículas alargadas	35%
Compactación	100%
Valor relativo de soporte estándar saturado	100 mín
Equivalente de arena	50 mín
Índice de durabilidad	40 mín

Fuente: Propia

1.2.14. Vidrio, su fabricación, tipos y propiedades

1.2.14.1. Generalidades

Navarro Fernández (2003) en Noel (2022), define al vidrio como el “resultado mineral conseguido por una combinación fundido a elevadas temperaturas de componentes inorgánicos que, cuando se enfría de modo drástico, endurece y brinda un producto como sólido de composición cambiante, en base de los elementos primas usadas y el procedimiento térmico aplicado”. (Noel, 2022). (p.28)

Por su parte, González (2019) en Noel (2022), afirma: “El vidrio es un material del todo inorgánico, resistente, fuerte; aunque al mismo momento muy delicado y quebradizo. Puede haber una sucesión gradual de tonos variados, o bueno ser transparente lo cual determina la composición química con lo que se realice la fundición”. (Noel, 2022). (p.28).

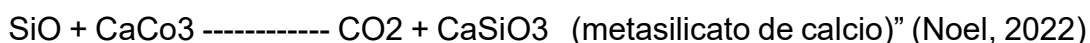
“(González, 2019), se cataloga al vidrio como un elemento denso irregular, o sea, que no muestra una constitución o modelo molecular determinado, sino que su estructura se encuentra homogéneamente alteradas y

no muestra un modelo organizado” (Noel, 2022). (p.29).

El vidrio se singulariza por ser: Un elemento rígido, aun si es muy delicado. Un elemento frágil cuando llega a ser maltratado de forma suave. Un elemento flexible por medio de diversas técnicas que ayudan a conseguir un acabado singular. Un elemento resultado de la fabricación y luego de enfriarse, podría llegar a ablandarse nuevamente al ser expuesto a temperaturas superiores a los 800°C. Un elemento que logra reutilizarse muchas veces o siempre. (Uriarte, 2021) en (Noel, 2022). (p.30).

1.2.14.2. Fabricación del vidrio

Bacón (2008) en Noel (2022) señala: “El vidrio se elabora partiendo de una combinación múltiple de elementos vitrificantes, como fundentes, los álcalis, sílice, y estabilizadores, por ejemplo, la cal. Estos componentes naturales se echan al horno de cubeta a través de una tolva. La mezcla se funde a unos 1500°C siendo las respuestas que se muestran (p.3):



1.2.14.3. Tipos de vidrio

1.2.14.3.1. Vidrio sódico cálcico

“Está integrado por sodio, calcio y sílice principalmente. La sílice es una porción del elemento natural básico, el sodio le otorga cierta agilidad de fusión y el calcio le abastece de solidez química. Si no tendría el calcio el vidrio sería disuelto en agua y en realidad no valdría para ninguna cosa. (Bacon, 2008). (p.4)” (Noel, 2022). (p.28).

“Esta clase de vidrio es el que se produce con superior facilidad y el más económico, de modo que la superior fracción del vidrio transparente y descolorido posee esta composición. (Bacon, 2008). (p.4)” (Noel, 2022). (p.28)

1.2.14.3.2. Vidrio de borosilicato

Su principal elemento constitutivo es el óxido de boro. Es en realidad inactivo, más complicado de producirlo y de trabajarlo. Los átomos de boro se unen a la conformación como Si-O-B, posee mayor resistencia a variaciones violentas de temperatura, aunque no tan elevado como la del vidrio de sílice puro. (Bacon, 2008) (p.5) en (Noel, 2022). (p.28).

1.2.14.3.3. Vidrio de sílice

Constituido con el 96% de sílice. Es el más rígido; y, dificultoso de elaborarlo, ya que es obligatorio valerse de un costoso procedimiento al vacío con fin de conseguir un producto para usos particulares, que transfiere energía radiosa del infrarrojo y del ultravioleta con un pequeño gasto de energía. (Bacon, 2008) (p.5) en (Noel, 2022). (p.28).

1.2.14.3.4. Vidrio plúmbico

“Incluye Pb en sustitución del Ca en los vidrios potásicos. Son bastante sonoros, transparentes y cambian de dirección la luz a causa de su alto índice de refracción. En donde el peso específico es alto (Bacon, 2008). (p.5)” en (Noel, 2022). (p.29).

1.2.14.4. Clases de vidrio

Existen muchas clases de vidrio, todos tienen distintas propiedades, que dependen desde su elaboración y composición química. Tienen diversas texturas, formas, solidez o resistencia y múltiples colores, y la gran mayoría no son translúcidos, algunos tipos se usan tan solo como adorno.

Para Torvisco (2016) en Noel (2022), existen las siguientes clases de vidrio:

- “Hueco: obtenido por soplado como las botellas, jarras, vasos, etc.)
- Prensado: se comprime fuertemente sobre un molde, por ejemplo, los ceniceros, vidrieras.
- Plano: compuesto por sílice, cal y carbonato sódico como los espejos, ventanas, mesas, etc.
- Pretensado o inastillables: calentado a una temperatura de 600°C, y luego se enfría rápidamente”.

1.2.14.5. Propiedades físicas y mecánicas del vidrio

1.2.14.5.1. Elasticidad

El vidrio posee “características elásticas, un elemento elástico es aquel que tras la aplicación de una fuerza este vuelve a su forma original (límite elástico y su módulo de elasticidad) (Morales Ortega, 2017)” (Noel, 2022).

1.2.14.5.2. Viscosidad

“Es la siguiente propiedad importante aplicada en cada una de las fases de elaboración ya que de esta manera se da la velocidad de fundición. Se define a la viscosidad como la fuerza que tiene un líquido a discurrir”. Para tener resistencia es necesario que las moléculas se encuentren juntas con una estabilidad continua. (Bacon, 2008) (p.7)” (Noel, 2022) (p.30).

1.2.14.5.3. Térmicas

“Alcanzamos establecer 4 temperaturas referenciales en base a la viscosidad del vidrio. Este instante de actividad, en el cual la viscosidad del vidrio caliente es bastante pequeño como para que sea posible atribuirle una forma empleando procedimientos comunes (Bacon, 2008). (p.8)” (Noel, 2022) (p.31).

1.2.14.5.4. Densidad

Esta propiedad dependerá de factores como la presión, la temperatura

a la que es sujetado y la composición química. En el vidrio la densidad crece al incrementar el agrupamiento de TiO (óxido de titanio) y CaO (óxido de calcio), durante ese tiempo cuando se aumenta el porcentaje en peso de aluminio (Al_2O_3) o de magnesio (MgO) la densidad desciende. (Bacon, 2008) en (Noel, 2022).

En Noel (2022), Bacon (2008), afirma: “Además, equiparando un vidrio con ecuación $\text{Na}_2\text{O} + \text{PbO} + \text{SiO}_2$ y el que contiene $\text{K}_2\text{O} + \text{PbO} + \text{SiO}_2$, notamos que se acrecienta notoriamente la densidad visto que el porcentaje de PbO es mayor que con Na es bastante superior que con K , y que en el momento en que obtienen cerca de 40% de contenido de PbO casi se equilibran”. “Generalmente, la densidad de un vidrio cambia casi nada si se cambia la presión. (Bacon, 2008) (p.8)” (Noel, 2022) (p. 31, 32).

1.2.14.5.5. Compresibilidad

“Es el efecto de disminuir el volumen de un producto. (Bacon, 2008) (p.9)” (Noel, 2022) (p. 32).

1.2.14.5.6. Durabilidad química

“Es la resistencia al ser puesto en conexión con factores atmosféricos o el agua, pues al hablar de mayores resistencias a reactantes químicos se pretende indicar que para que las reacciones sucedan debe transcurrir un lapso muy extenso, por ello en realidad no tienen reacción. (Bacon, 2008) (p.10)” (Noel, 2022)

1.2.14.5.7. Eléctricas

“La conductividad de un vidrio es básicamente dependiente de su composición, de las cualidades atmosféricas y de su temperatura que bordean el elemento. A pequeñas temperaturas los vidrios multielementos son separadores y a grandes temperaturas son portadores electrolíticos (Baco, 2008) (p.10) (Noel, 2022) (p. 32).

1.2.14.6. Botellas de vidrio

Sanleón (2015): El vidrio utilizado en la fabricación de botellas es de tipo sodo-cálcico, donde las características diferenciadoras de estos envases son: el color, el tipo de tapón-tapa aplicable (del que dependerá el tipo de boca a utilizar), así como la elección o no de cápsulas protectoras para su cierre. Para su fabricación se emplea principalmente la técnica de soplado-soplado, aunque el procedimiento de prensado-soplado (desarrollado principalmente para envases de boca ancha) está experimentando gran desarrollo en los envases de boca pequeña, ya que se obtiene un mejor control en el reparto del vidrio.

Cuando las botellas salen de la máquina sopladora final, todavía mantienen una temperatura de unos 650°C y, para evitar la formación de tensiones internas debido al enfriamiento rápido, los recipientes son llevados hacia un túnel o lehr, con temperatura controlada, a través del cual pasan lentamente siendo recalentados y posteriormente enfriados de una forma predeterminada.

De acuerdo a requerimientos sobre resistencia de la superficie de las botellas, coloración y otros se aplican tratamientos “en caliente” cuando éstas están sobre el transportador que conduce los recipientes desde la máquina formadora hasta el túnel de recocido. La segunda etapa o tratamiento “en frío”, se aplica a los recipientes recocidos y enfriados a la salida del túnel o lehr, y consiste en aplicar un compuesto orgánico tal como ácido oleico, para aumentar la lubricidad de los recipientes.

Actualmente, para los principales procesos de fabricación de envases de vidrio se utilizan máquinas de tipo IS (máquinas de sección independiente o individual), siendo alimentadas por hornos de fusión llegando a producir hasta 300 recipientes por minuto, y manipulando más de 100 toneladas de vidrio por día.

La normativa española UNE 126102:2004 establece a modo general una

tabla en la que relacionan los principales aspectos de la botella, como son, su capacidad, peso y dimensiones principales, así como, tipo de producto a contener, parte de dicha tabla se muestra a continuación:

Tabla 15. Características Físicas de botellas de vidrio

Relaciones	Capacidad hasta el borde	Producto carbonatado CO ₂ (>2g/l)	Producto poco carbonatado CO ₂ (<2g/l)
Peso/Capacidad g/cl	5 cl<C<18 cl	9.5 – 13.5	7.3 - 12
	18 cl<C<190 cl		4.9 – 3.2
	18 cl<C<110 cl	5.6 - 11	

Fuente: Sanleón (2015).

Sanleón (2015) afirma: En el campo industrial el empleo del vidrio interviene en sectores muy variados, para las botellas de vidrio las tipologías más comunes son las siguientes:

- Botellas de vidrio con revestimiento de seguridad.
- Botellas de vidrio con tapón
- Botellas de vidrio con tapón de cápsula
- Botellas de vidrio con tapón de corcho
- Botellas de vidrio con tapón de rosca
- Botellas de vidrio de medio galón
- Botellas de vidrio forradas de plástico
- Botellas de vidrio para aceites para motores
- Botellas de vidrio para agua mineral
- Botellas de vidrio para bebidas
- Botellas de vidrio para cerveza
- Botellas de vidrio para champagne
- Botellas de vidrio para gaseosas y zumos de fruta
- Botellas de vidrio para leche

- Botellas de vidrio para licores
- Botellas de vidrio para productos químicos
- Botellas de vidrio para suero de sangre
- Botellas de vidrio para vino

1.2.14.7. Reciclaje de botellas de vidrio

“El vidrio es un material altamente contaminante y tarda muchísimos años en poder degradarse, el cual produce efectos negativos sobre la vida animal, la vida silvestre y el hábitat de ésta, sobre los océanos y cursos de agua, y sobre los humanos. En el Perú se recicla solo el 1.9% del total de residuos sólidos re-aprovechables (...). (Chavez, et. al., 2019, p. 2).

El propósito del reciclaje es aminorar los efectos ambientales que se generan en la explotación de agregados para su uso en la construcción. En esta actividad, los agregados constituyen un porcentaje no menor del 80 por ciento de los materiales, y en la construcción de obras viales el porcentaje es mucho mayor. En la presente investigación se ha optado por usar polvo de vidrio de botellas transparentes de este material, como material de adición para estabilizar un material arcilloso con fines de uso en reconformación de la subrasante de una calle no pavimentada del área urbana. “Por cada 3000 botellas recicladas son 1000 kg menos que van al vertedero (Fernández & Rodríguez, 2010)” (Noel, 2022) (p.33).

“El proceso de reciclaje de las botellas no solo aporta beneficios a la industria, sino también al planeta reduciendo en un 20% la contaminación atmosférica y disminuyendo en un 50% la contaminación del agua (Fernández & Rodríguez, 2010)” (Noel, 2022) (p.33).

1.2.14.7.1. Proceso de reciclaje

Para obtener el polvo de vidrio molido a partir de botellas recicladas, se

cumple el siguiente proceso: recolección de botellas de vidrio transparentes, luego se efectúa la remoción de impurezas, lavado y desinfección, y se deja secar al aire libre. Una vez secas, se efectuará su trituración y abrasión, y finalmente se realizará el tamizado por la malla N° 200, para usarse el material que pasa dicha malla.

1.2.14.7.2. Polvo de vidrio

“Polvo: Son partículas sólidas, pequeñas y secas que poseen un diámetro desde 1 hasta 100 micras y se colocan poco a poco por su propio peso (Ruiz, 2016)” (Noel, 2022) (p.34)

1.2.14.7.3. Composición química del vidrio

Bacon (2008) en Noel (2022) indica la composición porcentual de los componentes más importantes del vidrio, siguiente:

“Dióxido de silicio: SiO_2 , entre 68% a 75%; óxido de sodio: Na_2O , entre 11% a 18% y óxido de calcio: CaO , entre 8% a 17%. (Bacon, 2008) (p.3)”. (Noel, 2022) (p.34).

1.2.15. Ensayos de evaluación de calidad de materiales

1.2.15.1. Ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos

Se efectuará los ensayos que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 16. Ensayos y normas para análisis de suelo

Ensayo	Norma
Contenido de humedad	MTC E 108 / ASTM D2216
Análisis granulométrico por tamizado	MTC E 107 / ASTM D6913
Límite líquido	MTC E 110 / ASTM D4318

Límite plástico	MTC E 111 / ASTM D4318
Índice de plasticidad	MTC E 111 / ASTM D4318
Índice de grupo	
Proctor modificado	MTC E 115 / ASTM D1557
Ensayo CBR	ASTM D1883
Análisis químico de polvo de vidrio Fluorescencia de rayos X	

Fuente: Propia

1.2.15.2. Ensayo de laboratorio de análisis químico del vidrio

Se efectuará el análisis químico del polvo de vidrio reciclado por fluorescencia de rayos X, para saber cuáles son sus componentes químicos.

1.2.15.3. Dosificación de polvo de vidrio para ensayo CBR

Tabla 17. Dosificación de polvo de vidrio para ensayo BCR

Dosificación de polvo de vidrio para el ensayo CBR					
Dosis polvo de vidrio	0.3	0.5	0.75	1.0	En kg/m3
Cantidad de material suelto	6000	6000	6000	6000	En Kg
Peso unitario suelto	2029	2029	2029	2029	En Kg/m3
Humedad natural	2.5	2.5	2.5	2.5	%
Humedad óptima de compactación	5.8	5.8	5.8	5.8	%
Agua necesaria	198	198	198	198	En gramos
Cantidad de polvo de vidrio necesaria a adicionar al agua	0.89	1.48	2.22	2.96	Datos en gramos

Fuente: BREM S.A.C. Environmental Solutions. 2021

Para alcanzar la estabilización completa, es esencial una adecuada pulverización final de la fracción arcillosa y la completa distribución del polvo del vidrio dentro del suelo.

Las verificaciones periódicas de los resultados se efectuarán según lo indica la Tabla 301.C-01 del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) (MTC, 2013); y, deberán satisfacer las exigencias indicadas en la Subsección 301.C.02 referida a Suelos de la

misma Norma (EG – 2013).

1.2.15.4. Ensayos y Frecuencias para suelo estabilizado con productos químicos

Tabla 18. Tabla 301.C -01, (Ensayos y Frecuencias para suelo estabilizado con productos químicos)

Propiedades y características	Método de ensayo	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Granulometría	MTC E 107	750 m3	Pista
Índice plástico	MTC E 111	750 m3	
Relación densidad - Humedad	MTC E 115	500 m3	
CBR	MTC E 132	500 m3	
Compactación	MTC E 117	Cada 250 m3	
Abrasión	MTC E 124	2000 m3	
Durabilidad (2)	MTC E 207	2000 m3	

Fuente: (MTC, 2013)

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico – mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y/o características.

(2) Ensayo exigido para capas estructurales en zonas con altitud mayor a 3000msnm

1.2. Definición de términos básicos

Arena: Agregado pétreo cuya fracción pasa el tamiz de 75mm (3 pulg) y es retenido en el tamiz N° 10 (2mm). Arena gruesa tiene un diámetro entre 2mm a 0.2mm; mientras que la arena fina uno entre 0.2mm – 0.05mm.

Arcilla: Fracción de suelo que pasa el tamiz N° 200. Su diámetro es menor a 0.005mm.

Limo: Fracción de suelo que pasa el tamiz N° 200, cuyo diámetro está comprendido entre 0.05 a 0.005mm.

Contenido de humedad: Cantidad de agua presente en el suelo, medido como porcentaje de su masa seca.

Contenido óptimo de humedad: Contenido de humedad particular, para una determinada energía de compactación, en el cual la densidad seca es la máxima y la compactación es mejor.

Límite líquido: Contenido de humedad con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm². (Sahu, Tagar, Taba, Sanjay y Reema, 2019).

Limite plástico: Contenido de humedad, en el que el suelo comienza a comportarse como un material plástico, evaluado en el momento en el que el suelo se desmorona cuando se rodilla manualmente hasta moldearse en forma de hilo de 3 mm de diámetro. Se expresa en tanto por ciento, con respecto al peso seco de la muestra secada al horno. Estado para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. (Sahu, Tagar, Taba, Sanjay y Reema, 2019).

Prueba Proctor: Ensayo para determinar el peso por unidad de volumen de un suelo que, ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Es el nexo que existe entre el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca. (ASTM, 2018).

Prueba Proctor estándar: Esta prueba tiene como finalidad determinar el peso volumétrico seco máximo de compactación Proctor y la humedad óptima

en los suelos. Sirve para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación. La energía de compactación es menor que para el Proctor modificado.

Prueba Proctor modificado: Aplica mayor energía de compactación que en el Proctor estándar. Su valor está más de acuerdo con las solicitaciones que las modernas estructuras imponen al suelo.

Valor relativo de soporte o CBR: Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y afirmado de un pavimento. El CBR es una medida de resistencia de un material a la penetración de un émbolo estándar en condiciones controladas de densidad y humedad. La prueba se realiza en un suelo alterado o en un suelo no alterado de suelo empapado y no empapado. (Gowtham, Naveenkumar, Ranjithkumar, Vijayakuma y Sivaraja, 2018).

Subrasante: Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

Estabilización de suelos: proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que, podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Suelo arcilloso: El suelo arcilloso es aquél en el que predomina la arcilla sobre otras partículas de otros tamaños. La arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm de diámetro, en contraposición a otras partículas más grandes como son el limo y la arena, por orden de tamaño, de menor a mayor. El término arcilloso (clayey) es aplicado cuando la fracción de finos tiene un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Suelo limoso: El término limoso (silty) es aplicado cuando la fracción de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor.

Suelos A-2-4 y A-2-5: Mezclas mal proporcionadas de grava, arena, limo y arcilla. Tienen material fino (limo y arcilla) en exceso a los límites establecidos por los suelos A-1 y A-3.

Materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz N° 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente, es decir mismos rangos en el límite líquido e índice de plasticidad. Estos grupos incluyen aquellos suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tengan un contenido de limo, o índices de grupo por encima de los indicados para el grupo A-1. Así mismo incluyen a las arenas finas con un contenido de limo no plástico por encima de las limitaciones del grupo A-3.

El material A-2-4 es adecuado como subrasantes cuando están adecuadamente drenados y compactados bajo un espesor moderado de pavimento (base y carpeta de rodadura) de un tipo adecuado para el tráfico que soportará, o que puede adecuarse por adiciones de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales. En todos los casos se supone que un 35% o más de material que pasa el tamiz N° 200 (0.0075mm) es crítico si se omite la plasticidad, pero el mínimo crítico es solo el 15% cuando se ve afectado por IP mayor que 10; asimismo, se supone que el LL igual o mayor que 40% es crítico, así como que un IP igual o mayor que 10% es crítico.

Compactación: En esta prueba se determina la densidad seca máxima (γ -max como MDD) y el contenido de humedad óptimo (OMC opt) del suelo con y sin aditivos. El OMC adquirido se utiliza además en la preparación de la muestra para la prueba California Bearing Ratio (CBR). (Medina, 2016).

Compresibilidad: La compresibilidad es una propiedad donde se observa el cambio de volumen de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten.

Contaminación ambiental: Se denomina así a la cantidad de partículas sólidas suspendidas en el aire, disueltas en el agua o incorporadas a los alimentos que ingerimos.

Contaminante químico: Es toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que, durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, puede incorporarse al aire en forma de polvo, humo, gas o vapor, con efectos irritantes, corrosivos asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.

Crioscópico: sustancia capaz de bajar el punto de congelación

Erosión: Es la acción de desgaste, acarreo o transporte y deposición de material intemperizado.

Estabilización: La estabilización del suelo es un método para mejorar las propiedades del suelo mezclando otros materiales. Las mejoras incluyen el aumento del peso unitario seco, la capacidad de carga, los cambios de volumen, el rendimiento de los subsuelos in situ, las arenas y otros materiales de desecho para fortalecer las superficies de las carreteras y otras aplicaciones geotécnicas. (Firoozi, Olgun, Asghar y Shojaei, 2017).

Estabilización química: Cuando se adiciona un agente externo que se mezcla con el suelo alterando las propiedades de este, generalmente al realizar la estabilización química resulta que hay un incremento en la resistencia del suelo. (Solmimihac, Echeverría y Tenoux, 2012).

Estabilización mecánica: Se realiza cuando se gana amplitud de soporte en el material sin que sea necesario agregar otros materiales y que las propiedades del suelo original sean modificadas. (Ponce, 2018).

Estabilidad volumétrica: Es la propiedad que tiene un suelo de mantener constante su volumen.

Floculación: Proceso por el cual una sustancia dispersa coloidalmente se separa en forma de partículas discretas, y no como masa continua, de líquido que la contiene.

Higroscópico: Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y todo los orgánicos, de absorber y extraer la humedad según las circunstancias que los rodean.

Grava: Partículas cuyo tamaño se encuentran entre 75mm – 2mm.

Granulometría: La distribución del tamaño de las partículas expresa el tamaño de las partículas en términos de porcentaje en peso del suelo que pasa por cada tamiz.

El procedimiento implica secar en horno la muestra de suelo durante 24 horas y dejar que se enfríe. (ASTM, 2016).

IMDA: El índice medio diario anual se emplea para planificar la proyección de vías, determinar el uso de las vías, evaluar las características geométricas, señalización de proyectos e iluminación, estudios de impacto ambiental, entre otros. (DG – 2018).

Intemperismo: se trata de un material que ha sido sometido a procesos de meteorización y/o erosión, es decir, que ha sido afectado por el agua, el viento, el sol, el hombre, etc., es decir que ha sufrido algún cambio, sea físico o químico de cómo era originalmente.

Mejoramiento de suelos: Para mejorar las propiedades de suelo es necesario que sea excavado a nivel de sub rasante y sustituir total o parcialmente con los diferentes estabilizadores que existen, logrando así que las propiedades del suelo cumplan con las especificaciones del diseño. (Guamán, 2016).

Permeabilidad: La permeabilidad de los suelos está definida por el

contenido de vacíos en su estructura, es decir, el espacio comprendido entre sus partículas provocando la circulación del agua a través de sus poros.

Polvo: Suspensión en el aire de partículas sólidas de tamaño pequeño procedentes de procesos físicos de disgregación. La gama de tamaños de las partículas de polvo es amplia, si bien, estos, fundamentalmente oscilan entre 0.1

Punto de inflamación: Temperatura mínima en la cual los vapores de la sustancia produce un encendido momentáneo bajo ciertas condiciones.

Punto de Solubilidad: Es el punto en el que algún producto se puede disolver.

Rehabilitación de carreteras: Proceso para reponer las características técnicas iniciales de construcción de una carretera.

Subrasante: Superficie terminada de las explanaciones, sobre la que se construirá la estructura del pavimento, por lo que se dice que es el suelo preparado para la fundación de la estructura superior del pavimento. Superficie ya terminada a nivel de corte y relleno (movimiento de tierras) en la cual se coloca el afirmado (pavimento flexible o rígido). (MTC – 2016).

Tensión superficial: Fuerza de atracción entre las moléculas de la superficie de un líquido y de las moléculas por debajo de ellas que permite que los líquidos presentan una gran tendencia a formar gotas.

Transporte terrestre: Desplazamiento en vías terrestres, de personas y mercancías sobre un medio motorizado, no motorizado o a pie.

Tránsito: Conjunto de desplazamientos de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (Circulación).

Trocha carrozable: Camino por donde circulan vehículos automotores, contruidos con un mínimo de movimiento de tierras, con una sección transversal

que permiten el paso de un solo vehículo.

Velocidad directriz o de diseño: Máxima velocidad que pueda mantener con seguridad sobre una sección determinada de la vía, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones del diseño.

Vidrio reciclado: desechos que suponen un desafío para el medio ambiente y se considera uno de los primeros en la lista de desechos sólidos. El volumen de la producción mundial de vidrio se estimó en cerca de 130 millones de toneladas en 2005. Normalmente, el vidrio tarda 450 años en biodegradarse. Por lo tanto, se vuelve más importante reutilizar en forma de estabilización del suelo. Las propiedades físicas del vidrio triturado son las que revelan alta permeabilidad, pequeña rigidez a la deformación, alta resistencia al aplastamiento y estas propiedades podrían mejorar su uso en trabajos de ingeniería, (Javed y Chakraborty, 2020).

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

Con frecuencia el ingeniero debe enfrentarse al suelo, a la vez, material y estructura de soporte; y, cuyas características le obligan, según ingenieros, entre ellos Gárnica, P. et al (2002), Vásquez (2010), y muchísimos otros más, a tomar alguna de las siguientes posibles decisiones:

- Aceptar el material en las condiciones que se lo encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades físicas y/o químicas del material para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada. Esta última posibilidad es la que según Montejo (2008) conlleva a la estabilización de suelos.

La construcción de la infraestructura vial es muy importante para el desarrollo de los pueblos. Durante la ejecución de este tipo de obras, el ingeniero peruano se encuentra con el problema de la diversidad de tipos de suelos presentes en la sub rasante, así como de materiales escasos o inexistentes para conformación de las diferentes capas de la estructura del pavimento. Cada tipo de suelo presenta problemas particulares de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas, de resistencia y a su vez todas éstas varían dependiendo del clima del lugar (Ugaz, 2006). La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas, las mismas que son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, por cuanto el mayor porcentaje de la vialidad se encuentra en esta categoría; y, en la sierra y selva tienden a deteriorarse en forma acelerada debido principalmente a la

presencia de lluvias. La consistencia de la capa de afirmado o base, no sólo es vulnerable a los factores climáticos sino también a la acción física de los vehículos; así, en estaciones secas las partículas de la superficie de rodadura llegan a pulverizarse bajo la acción abrasiva de los neumáticos, iniciándose el deterioro progresivo de la superficie y la emisión de polvo que afecta la salud de los pobladores que habitan cerca al eje de este tipo de carreteras; pero, en épocas de lluvia pierde la capacidad portante iniciándose fallas como ahuellamientos, surcos, baches, etc.; lo cual implican altos costos en el mantenimiento rutinario de la vía y afectaciones ambientales (Taipe y Pillaca, 2014).

La planeación, construcción y mantenimiento de las vías tienen costos muy altos cual fuese el nivel de su calidad y en ciertas ocasiones encarece, pues no en todos los lugares se encuentran materiales útiles para la construcción, haciéndose necesario transportar materiales desde lugares muy alejados, para cumplir las exigencias normativas. Por otra parte, el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción vial depende de la calidad de los suelos subyacentes; éstos influyen en el comportamiento de la estructura, así los suelos inestables pueden crear problemas significativos en los pavimentos, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización y diversos materiales, como cal, cemento Portland, aditivos, emulsiones, enzimas, geomallas, etc (Martinez, 2012).

El comportamiento de los suelos influye en el comportamiento de la estructura del pavimento de las carreteras, entonces, resulta importante conocer si las propiedades y características de éste, son apropiadas, de no ser así se recurren a métodos de mejoramiento de los materiales del terreno de fundación, subbase y base, denominados estabilización de suelos. Una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a los suelos de las carreteras un mejor comportamiento en el servicio al incrementar de manera notoria su resistencia y capacidad de carga y disminuyendo su sensibilidad al agua y a los cambios volumétricos durante el ciclo de humedecimiento y secado; para tal efecto existen en el mercado,

diversas empresas dedicadas a la comercialización de productos químicos estabilizadores tales como, enzimas orgánicas, aceites sulfonados, compuestos inorgánicos, cloruros, etc., cuya aplicación resulta favorable en otros países, pero al emplearlos en nuestro territorio, no siempre los resultados son óptimos, transformándose posteriormente en soluciones antieconómicas y a veces en desperdicio del dinero público (Ugaz, 2006), (Cristobal, 2015).

En este contexto, Vásquez (2010), señala que la estabilización significa entonces, no solo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, que implica la mejora de las propiedades de estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad y compresibilidad, sino también asegurar la permanencia de ese estado a través del tiempo, es decir, la durabilidad. Este último aspecto tiene fundamental importancia en el comportamiento de la vía, pues, de su existencia, depende la existencia del primero (Márquez, 2005), (Martínez, 2011).

En la actualidad, se viene desarrollando el uso y estabilización de suelos, alrededor de todo el mundo, con el fin de obtener una mayor durabilidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento, además de tener capas de mayor capacidad de soporte y que de igual forma sean más resistentes a los agentes atmosféricos; y, hace más de 30 años que las técnicas de modificación de los suelos se han convertido en una parte importante de la práctica de la ingeniería civil (Hausmann, 1990). El mejoramiento de las zonas con presencia de arcilla débil o compresible se hace comúnmente mediante la eliminación de los suelos arcillosos de baja capacidad de soporte y se reemplazan por otros más competentes, tales como la grava arenosa compactada, piedra triturada, o agregados livianos para aumentar la capacidad de carga (Kukko, 2000). Aunque esto, se considera una buena solución, por lo general tiene el inconveniente de alto costo debido al material de reemplazo; entonces, se considera una solución más rentable, el uso de aditivos derivados de la combustión de carbón, como cenizas volantes u otros procesos de estabilización química de mejora de las propiedades físicas y mecánicas tanto del suelo natural existente en las fundaciones, como de aquellos suelos de canteras de material de préstamo para

las capas de sub base y base que conforman la estructura del pavimento.

No obstante la existencia de investigaciones y hasta algunos proyectos viales ejecutados con estabilización de suelos en Perú, se ha observado que cada caso presenta resultados particulares inherentes al tipo de suelo predominante en la región; para la Selva Baja Peruana, donde según Carrillo-Gil et al (1993) predominan los suelos residuales - suelos saprolíticos y lateríticos - no es posible todavía hacer generalizaciones que sean válidas universalmente por no existir suficiente conocimiento del suelo tropical, en especial con respecto a sus propiedades químicas y mineralógicas y a su comportamiento mecánico; y, por otro lado, los métodos de análisis de estabilidad aceptados por la comunidad geotécnica no conducen aún a resultados satisfactorios para estos materiales (Carrillo-Gil, 2016). Entonces, resulta importante conocer sí las propiedades y características del suelo son apropiadas, de no ser así plantear alguno de los varios métodos de mejoramiento conocidos como los de estabilización de suelos, y de la existencia de una diversidad de productos químicos estabilizantes, no precisamente del tipo de los suelos residuales propios de nuestra Selva Baja, estimamos necesario realizar el estudio a nuestros suelos en estado natural y estabilizado con polvo de vidrio molido, aplicándose a los suelos existentes de la Cantera ubicada en la carretera Iquitos Nauta km 17.

Esta calle tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 19. Características técnicas de la calle 10 de Agosto (de 0.75 km aproximadamente)

Velocidad directriz	30 Km. /h.
Ancho promedio de plataforma	7.00 m.
Superficie de rodadura	Encalaminada.
Bermas laterales	Con maleza y arbustos.
Pendiente promedio	3 %
Alcantarillas	Obstruidas
Cunetas	Obstruidas
Longitud hasta Clínica de Ojo Divino Niño	2.50 km

Fuente: Propia

Esta calle actualmente se encuentra socavada por la extracción de material de relleno en casi toda su longitud y requiere conformar su nivel al correspondiente nivel de subrasante. Los suelos, en el primer tramo es arena blanquesina y en el segundo tramo es arena rojiza. Ante esta situación, es posible tomar la siguiente decisión: reconformar el nivel de subrasante con material areno limo arcilloso existente en la cantera carreta Iquitos- Nauta Km 17 estabilizado con polvo de vidrio molido para que sirva como material para conformar la capa de subrasante de la estructura de la plataforma.

Por esta razón el presente trabajo se enfocará a evaluar los efectos del vidrio molido como estabilizante del material areno limo arcilloso del suelo de la subrasante de la calle para conformar la denominada capa base de la estructura de la plataforma de esta vía.

En las calles no pavimentadas de la Ciudad de Metropolitana de Iquitos, existen suelos de diferente naturaleza, cuyo comportamiento, regularmente, se modifica con las precipitaciones, siendo inestables en mayor grado de acuerdo a si corresponden a arcillas de mediana a alta plasticidad; lo cual, dificulta el tránsito vehicular, restringiéndose el acceso a sus hogares de los moradores de asentamientos humanos aún no consolidados, y cuyas calles no han sido estabilizadas o carecen de pavimento.

“En el Perú, los suelos tropicales en un gran porcentaje son de tipo saprolíticos, esto es, suelos arcillosos mezclados con limo y arena, principalmente. “Carrillo-Gill (2016), al tratar sobre la estabilización con cal de suelos residuales en la selva baja peruana, señaló: “(...) se han encontrado algunos resultados de laboratorio para especímenes que presentan portancia tan baja como CBR de 1% a 5% en promedio, y que al mezclarse con cal se obtiene un aumento substancial en el valor del CBR (...), estableciéndose que con 5% a 6% de cal hidratada en peso es posible obtener un mínimo de 15% de CBR como resistencia inicial para las arcillas saprolíticas de la selva baja, y si se continua el curado, se encontró que después de un buen tiempo el CBR aumentó considerablemente llegando hasta valores mayores del 29% en 140 horas” (Carrillo-Gil, et al, 1993).

La estabilización de los suelos de estas calles es una imperiosa necesidad, pues las exigencias ambientales cada día condicionan a la práctica de utilizar al máximo el suelo constituyente de la subrasante, evitando su corte, eliminación y reemplazo con materiales granulares de cantera. Se considerarán como materiales apropiados para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. Nuestras normas contravienen con buenas prácticas amigables con el medio ambiente, cuando prescriben que, en caso de ser menor, se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y en su reemplazo se colocará un material granular con CBR mayor a 6%, para su estabilización. El proceso para reusar y no eliminar los materiales existentes en las calles sin pavimentar, corresponde a su estabilización, básicamente química. La estabilización del suelo es un método para mejorar sus propiedades como aumento del peso unitario seco, la capacidad de carga, los cambios de volumen, el rendimiento de los subsuelos in situ, las arenas y otros materiales de desecho para fortalecer las superficies de las carreteras y otras aplicaciones geotécnicas. (Firoozi, Olgun, Asghar y Shojaei, 2017). La Estabilización química, implica la adición de un agente externo que se mezcla con el suelo alterando las propiedades de éste; y, generalmente al realizar la estabilización química resulta que el comportamiento resistente del suelo estabilizado se incrementa. (Solmimihac, Echeverría y Tenoux, 2012).

En la ciudad de Iquitos, solamente contamos con arena fina, como agregado para la elaboración de concreto cemento-arena; y en el sector y alrededores de la actual calle 10 de Agosto en el distrito de San Juan Bautista, existió una cantera de arena, cuya explotación en los años ochenta del siglo pasado dejó una superficie muy irregular. La calle 10 de Agosto es la vía de acceso que une la calle ya pavimentada Secada Vigneta con varios asentamientos humanos del sector; sin embargo, el emplazamiento de las calles 10 de Agosto y otras en este sector, tienen un perfil longitudinal cóncavo con desniveles por debajo de la subrasante de hasta 1.50 m que se tiene que reconformar con material de préstamo. En esta investigación se propone una técnica de estabilización de suelos para su uso como material de préstamo para reconformar la subrasante usando polvo de vidrio reciclado para mejorar las

cualidades físicas como: granulométricas, porcentajes de humedad, límites de consistencia, máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad a la que se le alcanza, porcentaje de hinchamiento; y, comportamiento resistente, a través de la determinación de los valores de la capacidad relativa de soporte CBR.

El suelo previsto a usarse como base para diseñar el material apto para reconformar la subrasante a través de la adición de polvo de vidrio reciclado, corresponde a un suelo de propiedades físicas y mecánicas de bajo nivel de comportamiento, existe en la cantidad suficiente en una cantera ubicada en el Caserío Unión Progreso, a 1200 m de la carretera Iquitos-Nauta, Km 10+200, lado Izquierdo.

Asimismo, el total de residuos sólidos reutilizables que se reciclan en el Perú representa el 1.9% del total (entre ellos, el vidrio). De acuerdo a datos brindados por recicladores, la ciudad de Iquitos desecha no menos de 5000 botellas de vidrio al día.

Se ha optado por usar botellas transparentes de vidrio recicladas, como material de sustitución de parte del agregado fino constituyente del suelo de la subrasante de una calle no pavimentada del área urbana, material éste, básicamente, del tipo arcillo limoso, al que se pretende mejorar sus características físicas y mecánicas con el objeto de su estabilización. “Por cada 3000 botellas recicladas son 1000 kg menos que van al vertedero (Fernández & Rodríguez, 2010)” (Noel, 2022) (p.33).

Para resolver esta situación problemática se formula la siguiente pregunta general:

2.2. Formulación del problema

Para contribuir en la solución de esta problemática existente, el problema queda formulado de la siguiente manera:

2.2.1. Problema general

¿Cómo son los efectos que produce la incorporación de polvo de vidrio reciclado en la estabilización del suelo natural a usarse en la reconfiguración de la subrasante en la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?

2.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es la composición química del polvo de vidrio reciclado para su adición como material estabilizante del suelo a usarse en la reconfiguración de la subrasante en la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?
2. ¿Cómo son las características físicas y mecánicas que posee el suelo a usarse en la reconfiguración de la subrasante en la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?
3. ¿Cómo son las características físicas y mecánicas que posee el material obtenido al incorporarse polvo de vidrio reciclado, en diferentes porcentajes, al suelo a usarse en la reconfiguración de la subrasante en la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?
4. ¿En qué medida varían los parámetros físicos y mecánicos antes y después de la incorporación de polvo de vidrio reciclado, en diferentes porcentajes, al suelo a usarse en la reconfiguración de la subrasante en la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?
5. ¿Cuáles son las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrece la incorporación de polvo de vidrio reciclado para el mejoramiento del suelo arcilloso existente en la calle 10 de Agosto para su uso, como

material estabilizado en el mejoramiento de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Determinar los efectos que produce la incorporación de polvo de vidrio reciclado en la estabilización de suelos de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar la composición y características químicas del polvo de vidrio reciclado para su uso como material estabilizante del suelo de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.
2. Determinar las características físicas y mecánicas que posee el suelo, en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.
3. Determinar las características físicas y mecánicas que posee el material obtenido al incorporarse, en diferentes porcentajes, polvo de vidrio reciclado al suelo en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.
4. Determinar la variación de los parámetros físicos y mecánicos antes y después de la incorporación, en diferentes porcentajes, de polvo de vidrio reciclado al suelo en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

5. Describir las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrece la incorporación de polvo de vidrio reciclado para el mejoramiento del suelo arcilloso existente de la calle 10 de Agosto para su uso, como material estabilizado en el mejoramiento de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H1: La incorporación de polvo de vidrio reciclado en el material arcilloso predominante en la calle 10 de Agosto mejora las características físicas y mecánicas de estos suelos para su uso como material estabilizado en la subrasante de esta calle en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023

2.4.2. Hipótesis específicas

H1₁. La composición y características químicas del polvo de vidrio reciclado para su uso como material estabilizante del suelo de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

H1₂. Determinar las características físicas y mecánicas que posee el suelo, en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023

H1₃. Determinar las características físicas y mecánicas que posee el material obtenido al incorporarse, en diferentes porcentajes, polvo de vidrio reciclado al suelo en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

H1₄. Determinar la variación de los parámetros físicos y mecánicos antes y después de la incorporación, en diferentes porcentajes, de polvo

de vidrio reciclado al suelo en estado natural de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

H15. Describir las ventajas técnicas, económicas y ambientales que ofrece la incorporación de polvo de vidrio reciclado para el mejoramiento del suelo arcilloso existente de la calle 10 de Agosto para su uso, como material estabilizado en el mejoramiento de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023.

2.5. Variables

2.5.1. Identificación de variables

Variable Independiente: X

X: Incorporación de polvo de vidrio reciclado

Variable dependiente: Y

Y: Estabilización de suelo arcilloso de la calle 10 de Agosto en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas.

2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables

- **Polvo de vidrio:** Se refiere a la trituración o molido del vidrio reciclado cuidadosamente seleccionado para su uso como estabilizante de suelos.
- **Estabilización de suelos arcillosos:** lo que se busca es mejorar la resistencia (aumentando la trabazón entre partículas), conseguir unas condiciones de humedad adecuadas (lo que genera estabilidad ante las cargas y escasa variación volumétrica) y aumentar la durabilidad de la capa de subrasante.

2.5.3. Operacionalización de las variables

Relación de Variables: $X \rightarrow Y$

Tabla 20. Operacionalización de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índices	Escala
Variable Independiente: X_1: Incorporación de polvo de vidrio reciclado	Químicas Físicas	- Composición química - Peso unitario - Peso específico - % de incorporación	% gr/cm3 gr/cm3 % en peso	Escala de calificación de intervalo
Variable Dependiente: Y_1: Estabilización química de suelos arcillosos de pasaje Las Palmas, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas	Aplicación en diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado Físicas antes y después de la incorporación de PVR Mecánicas antes y después de la incorporación de PVR	- Porcentaje óptimo de polvo de vidrio. - Contenido de humedad. - Granulometría - Peso Unitario - Peso específico - Próctor - California Bearing Ratio (CBR)	% % % gr/cm3 g/cm3 unidad unidad	De razón

3. Metodología

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo aplicada y de nivel correlacional causal. Se desarrolló como un tipo de estudio explicativo, porque se centra en explicar lo que ocurre a la variable dependiente, después de aplicar el polvo molido de vidrio reciclado al concreto cemento arena.

3.1.2. Diseño de investigación

Experimental Transversal

El grupo experimental estuvo conformado por los suelos areno limo arcilloso, de cinco (05) calicatas de hasta 1.50m de profundidad correspondientes a la Cantera.

La representación gráfica es la siguiente:

$$G_1: O_1 \times O_2$$

Donde:

G1: Grupo Experimental

X: Estabilización del suelo areno limo arcilloso con polvo de vidrio molido

O1: Test antes del experimento

O2: Test después del experimento

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estará conformada por suelos areno limo arcilloso de las **canteras** de la carretera Iquitos – Nauta, de San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto, los cuales serán sujetos a evaluación y análisis de sus propiedades físicas y mecánicas.

3.2.2. Muestra

Para la prueba de hipótesis, la cantidad de muestra se determinó a criterio no probabilístico, considerándose objeto de estudio cinco (05) calicatas de suelo areno limo arcilloso de la Cantera km 17 carretera Iquitos-Nauta con la cual se realizó ensayos adicionándolo porcentajes de polvo de vidrio molido reciclado; así como porcentajes de polvo de vidrio molido reciclado y 0,5% de cemento portland, en la cantidad de muestras que se indica en las siguientes tablas.

Tabla 21. Cantidad de muestra por calicata

Ensayo	Cantidad (Kg)
Contenido de humedad	5.00 kg
Límites de consistencia	5.00 kg
Granulometría	10.00 kg
Ensayo Próctor	50.00 kg
Ensayo CBR	200.00 kg
Total, por calicata	270.00 kg

Fuente: Propia

Tabla 22. Cantidad de muestras a ensayar

Variable/ Código	M1	M2	M3	M4	M5	Parcial
Especímenes Límite Líquido y Plástico	5	5	5	5	5	25
Especímenes densidad seca máxima	1	1	1	1	1	5
Especímenes CBR	2	2	2	2	2	10
Total de ensayos						40

Fuente: Propia

3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Tabla 23. Fases de recopilación de datos

LA RECOPIACIÓN DE DATOS	
Primera fase: Trabajo de campo	Se tomaron las muestras de las calicatas de la Cantera Km 17 carretera Iquitos Nauta, en zonas aún no alteradas (muestras alteradas) y hasta a 1.50m de profundidad en un promedio de 250kg por calicata.
Segunda fase: Trabajo de laboratorio	Los ensayos a realizar son los conocidos como estándares y los denominados especiales.

*Fuente: Propia***Tabla 24.** Coordenadas UTM de ubicación de Cantera

Ubicación: La cantera se encuentra ubicada en el Km 17 de la carretera Iquitos – Nauta, a o.25 km entrando a la derecha					
COORDENADAS UTM. LADOS Y VÉRTICES					
Vértice	Norte (m)	Este (m)	Ángulo interno	Distancia	
				Lados	Longitud
1	9573230	683045		A-B	277.76 m
2	9573288	683311		B-C	225.60 m
3	9573098	683311		C-D	367.71 m
4	9572973	683087		D-A	267.04 m
		Suma ángulos internos del polígono:		Perímetro: 1,138.11 m	
Área Explotable medida				76821m2	
Situación actual				Sector aún no explotado	
Propietario				Privada.	
Profundidad de explotación (Potencia)				10.00 m	
Volumen Explotable estimado				768210 m3	

*Fuente: Propia***Tabla 25.** Coordenadas de emplazamiento de calicatas

Coordenadas	Norte	Este
Calicata C-1	683363.42	9573121.92

Calicata C-2	683251.00	9573116.00
Calicata C-3	683220.94	9573207.93
Calicata C-4	683101.80	9573157.26

Fuente: Propia

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los datos acerca de la efectividad del polvo de vidrio molido como estabilizador químico, se determinará mediante ensayos realizados sobre probetas de suelos estabilizadas químicamente con este aditivo y sobre probetas del suelo natural de la Cantera Km 17 carretera Iquitos – Nauta; teniendo como criterio de efectividad, la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas químicamente sobre las otras (Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Norma Técnica de estabilizadores químicos); pero también se recogerá información pertinente a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con aditivos químicos en la estabilización de carreteras no pavimentadas.

3.3.3. Laboratorios y Procedimientos a emplear

Las muestras representativas del suelo areno limo arcilloso, y las mezclas de suelo cemento y suelo cemento adicionando Terrasil serán sometidas a los ensayos, tanto estándares como especiales, siguientes:

Tabla 26. Ensayos a realizar en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de Construcción de la UCP.

Características	Ensayo	Normas
Físicas	Análisis Granulométrico por Tamizado	(MTC E 107-ASTM D 422)
	Humedad Natural	(MTC E 108-ASTM D2216)
	Límites de Atterberg - Límite Líquido	(MTC E 110-ASTM D4318)
	Límite Plástico	(MTC E 111-ASTM D4318)

	Índice de Plasticidad	(MTC E 111-ASTM D4318)
	Clasificación de Suelos método SUCS	(ASTM D2487)
	Clasificación de Suelos método AASHTO	(ASTM D3282)
Química	Determinación de pH del Suelo Natural	(ASTM D4972)
Mecánicas	Próctor Modificado	(MTC E 115-ASTMD1557)
	California Bearing Ratio	(MTC E 132-2000; ASTM D1883)

Fuente: Propia

Los ensayos de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la Universidad Científica del Perú – UCP, de acuerdo a Normas ASTM; AASHTO y MTC, según el caso. Los resultados de estos ensayos se presentan en el Anexo correspondiente del Informe Final de la Tesis. Los análisis químicos pH y de materia orgánica en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana “UNAP”.

3.3.4. Materiales utilizados

Tabla 27. Materiales utilizados para desarrollar la tesis

Material	Suelo areno limoso arcilloso de la cantera
	Polvo de vidrio
	Agua potable

Fuente: Propia

3.3.5. Equipos utilizados

Tabla 28. Equipos utilizados para desarrollar la tesis

Equipos	Descripción	
---------	-------------	--

Tamices	Para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM 0421).	
Balanzas electrónicas digitales.	Estufa con control de temperatura. Taras de todos los tamaños.	Moldes de Proctor modificado. Martillo de 10 lb. Moldes para ensayo CBR. Equipo para ensayo CBR.

Fuente: Propia

3.3.6. Descripción de Ensayos realizados: Para el suelo areno limo arcilloso con adición de Polvo de vidrio molido al 0 %

Tabla 29. Contenido de Humedad de suelo areno limo arcilloso cantera Km 17 carretera Iquitos -Nauta con adición polvo de vidrio molido al 0 %

1	Determinación del contenido de humedad (W %): Norma ASTM D 2216-92; Norma MTC E 108-199; NTP 339-127.	
Material	Muestra alterada extraída de suelo de la cantera Km 17 de la carretera Iquitos – Nauta.	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP	

Fuente: Propia

Tabla 30. Análisis granulométrico de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de Terrasil al 0%

2	Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado: Norma ASTM D 421.	
Material	Muestra seca aproximadamente 200 gr. (material arcilloso).	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP	

Fuente: Propia

Tabla 31. Análisis granulométrico con el hidrómetro de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%

3	Análisis Granulométrico con el hidrómetro: Norma ASTM D 422	
Material	- Muestra seca pulverizada 50 gr. (material arcilloso). - 125 cc de solución al 4% de exametafosfato de sodio (agente de floculante) - Agua destilada aprox. 1000 ml	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP y/o: - Se deja que el suelo se sature por lo menos 16 horas en el defloculante. - Después de este periodo de saturación se agrega agua destilada y la mezcla suelo-agente defloculante es agitada vigorosamente. La muestra se transfiere a una probeta de 1000 ml. - Se agrega más agua destilada a la probeta hasta la marca de 1000 ml y luego la mezcla se agita vigorosamente. - Colocar el hidrómetro dentro de la probeta para medir – generalmente durante un periodo de 24 horas – la densidad de sólidos de la suspensión suelo- agua en la vecindad del su bulbo (Das, 2001)	

Fuente: Propia

Tabla 32. Análisis de Límite Líquido de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%

4	Límite Líquido 0 % de Terrasil: Norma ASTM D 4318; AASHTO T89; MTC E110-199; NTP 339-130.	
Material	Muestra seca que pasa tamiz N° 40.	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP	

Fuente: Propia

Tabla 33. Análisis de Límite Plástico de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%

5	Límite Plástico 0 % de Terrasil: Norma ASTM D 4318; AASHTO T90; MTC E111-199.	
---	---	--

Material	Muestra seca una porción.
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP

Fuente: Propia

Tabla 34. Compactación Proctor Modificado de suelo areno limo arcilloso Cantera Milagritos III con adición de polvo de vidrio molido al 0%

6	Compactación Proctor Modificado 0 % de Terrasil: Norma ASTM D 1557; AASHTO T180; MTC E115-199.	
Material	• Muestra alterada seca. • Papel filtro	
Equipos	Los necesarios del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Tecnología de Materiales de la UCP	
Procedimiento	Según protocolos de ensayos del Laboratorio UCP	

Fuente: Propia

Tabla 35. Ensayo CBR de suelo areno limo arcilloso Cantera km 17 carretera Iquitos Nauta con adición de polvo de vidrio molido al 0%

7	Ensayo CBR en laboratorio 0 % de Terrasil: Norma ASTM D 1883; ASTM D 4429-93; AASHTO T190.	
Material	• Muestra alterada seca. • Papel filtro	
Equipos	Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión; 3 discos espaciadores; 3 placas de expansión; sobrecarga cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes). • Pisón Proctor modificado. • Balanza con aproximación de 1 gr • Estufa con control de temperatura. • Espátula. • Probeta de 1000 ml. • Recipiente de 6 kg. de capacidad. • Taras identificadas.	
Procedimiento	Consta de 3 fases: ensayo de compactación CBR, ensayo de hinchamiento y ensayo carga- penetración. Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.	

Fuente: Propia

3.3.7. Ensayos para el suelo areno limo arcilloso con adición en diversos porcentajes de polvo de vidrio molido

Los procedimientos fueron los mismos indicados a realizar en el acápite Descripción de Ensayos con la diferencia que las muestras fueron alteradas con la adición de polvo de vidrio molido en sus diversos tratamientos. La mezcla de los diferentes porcentajes de cemento se realizó manualmente y los porcentajes de polvo de vidrio molido están referidos en porcentaje del peso de la muestra seca.

Los cálculos de los ensayos para los diferentes tratamientos se presentan en la sección de anexos del Informe Final de Tesis.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó la Estadística Descriptiva y para el tratamiento de la información se aplicó el Análisis de Varianza.

En el proceso de la contrastación de la hipótesis se efectuó la prueba de normalidad por el método de Shapiro Wilk, y al verificarse que los resultados proceden de una distribución normal, se aplicó luego el análisis de varianza por el método de ANOVA.

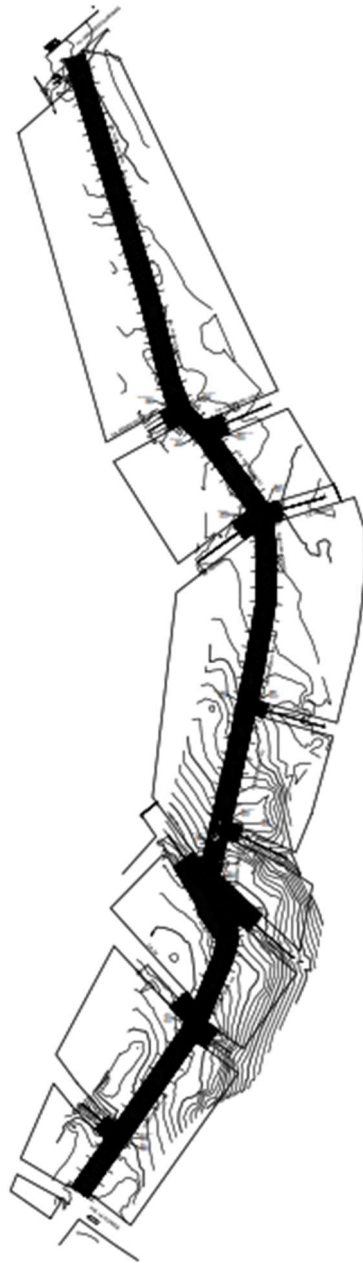
4. Resultados y discusión de resultados

4.1. Resultados

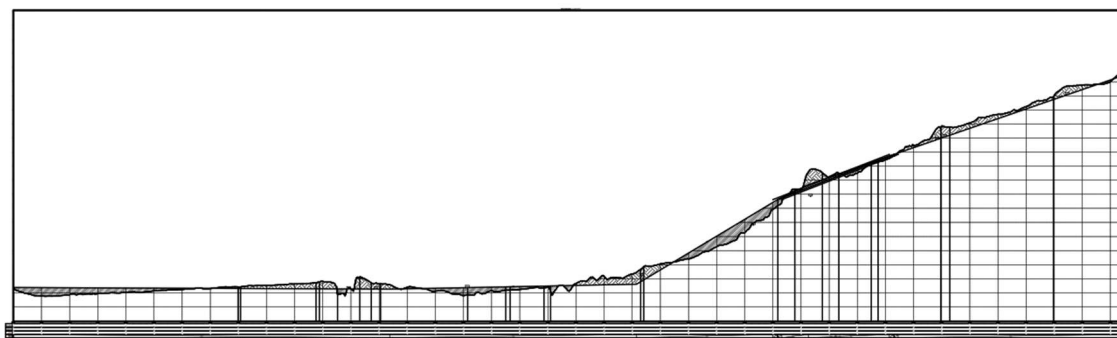
El material natural cuya estabilidad se trató de mejorar, es un suelo arcilloso limo arenoso de color anaranjado, húmedo, con porcentaje reducido de partículas arenosas, clasificada como CL según SUCS y según AASHTO como A-6 (0); contiene 18,48% de material fino que pasa la malla N° 200 y 9,23% de humedad natural y 5,94 de pH, en promedio. Los ensayos de límites de consistencia de este suelo indican que tiene: $LL=36.90$, $LP=26.97$, $IP=9.93$



**PLANTA CALLE 10 DE AGOSTO CON SOBREVUELO DE DRON
(ORTOFOTO)**



PLANTA CALLE 10 DE AGOSTO

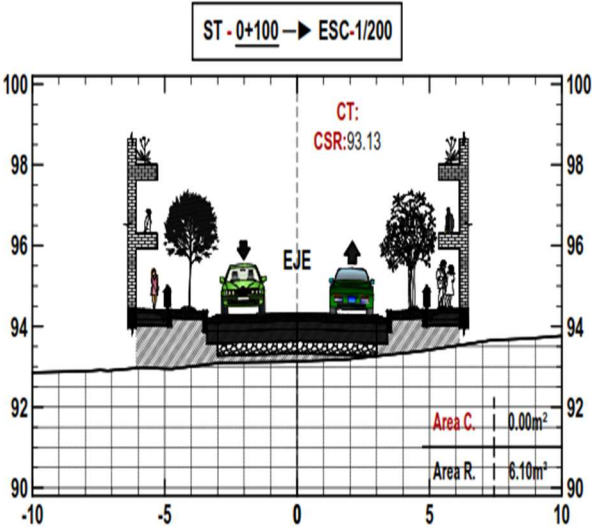
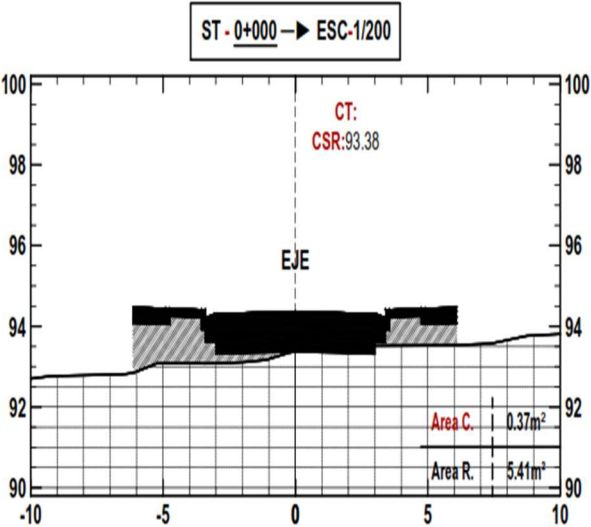
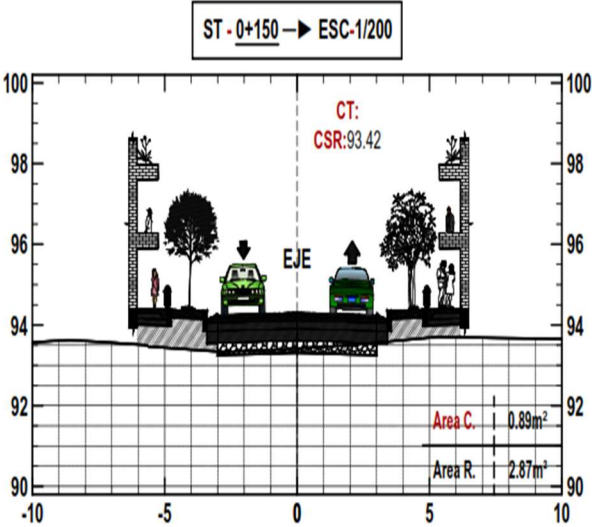
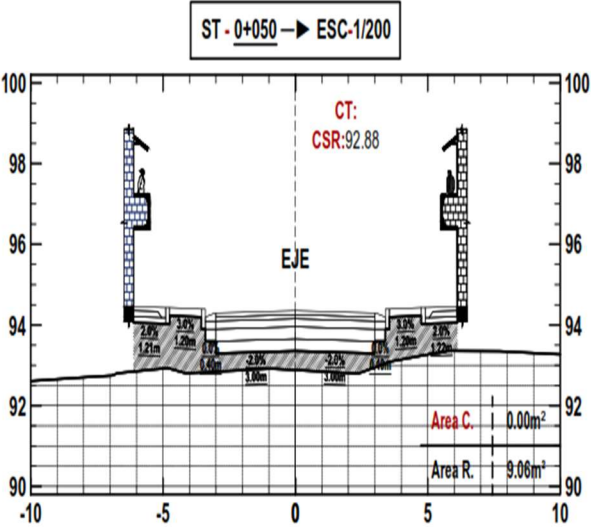


PROGRESIV A	0+00 0	0+050	0+100	0+15 0	0+200	0+250	0+30 0	0+35 0	0+400
COTA DE TERRENO	93.38	92.88	93.13	93.42	93.62	93.98	93.11	93.19	93.66
SUB RASANTE	93.38	93.35	93.33	93.31	93.29	93.26	93.32	93.42	93.52
CORTE (-) RELLENO (+)	-	0.47	0.20	- 0.11	- 0.33	- 0.72	0.21	0.23	- 0.14

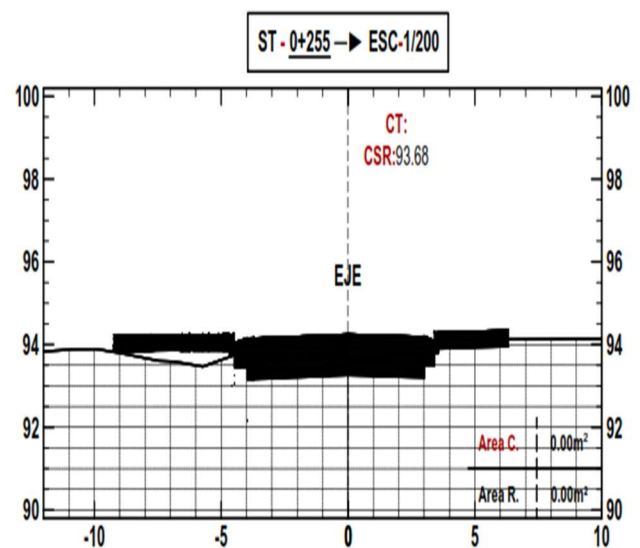
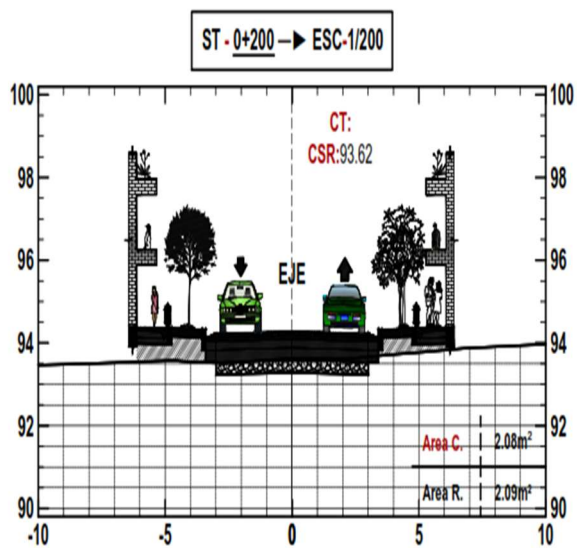
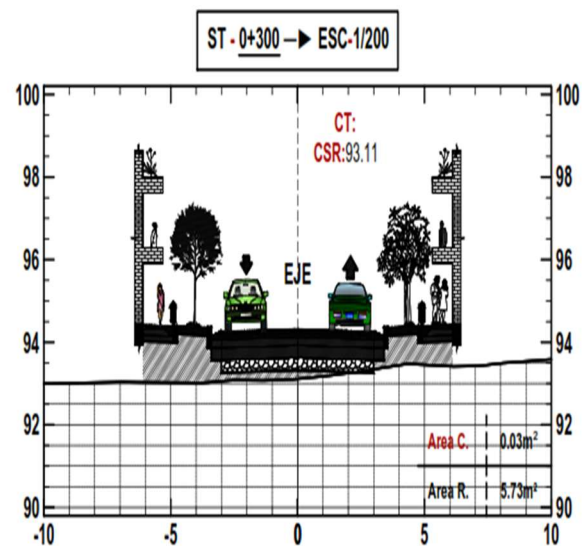
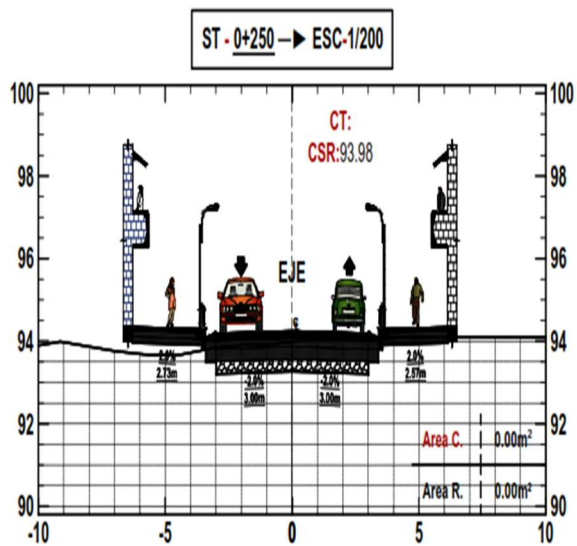
PROGRESIV A	0+450	0+500	0+550	0+600	0+650	0+700	0+750	0+791.87 7
COTA DE TERRENO	94.91	96.27	99.92	101.49	103.88	105.68	107.70	108.54
SUB RASANTE	94.02	97.02	99.94	101.91	103.66	105.38	107.10	108.54
CORTE (-) RELLENO (+)	- 0.89	0.75	0.02	0.42	- 0.22	- 0.30	- 0.60	-

PERFIL LONGITUDINAL DE CALLE 10 DE AGOSTO

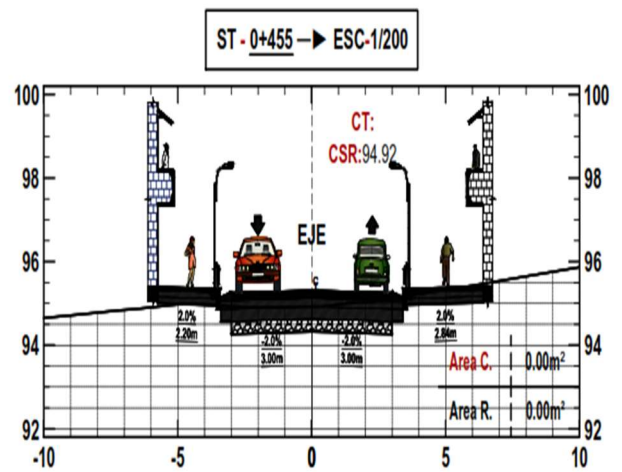
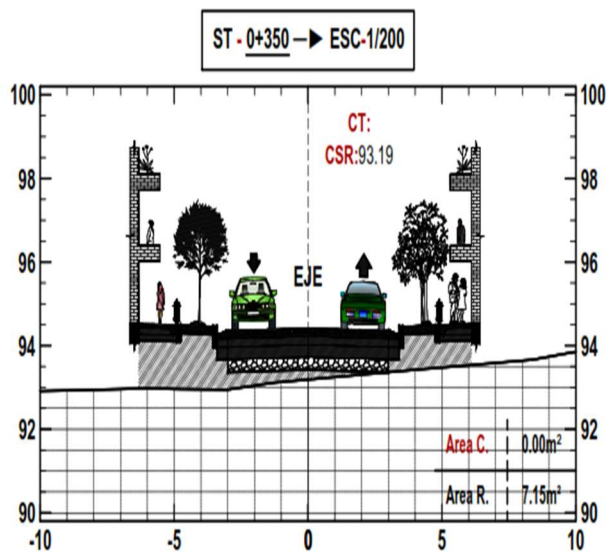
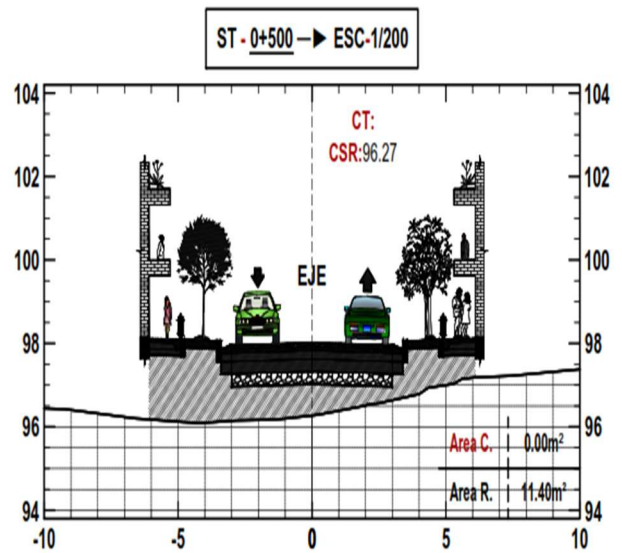
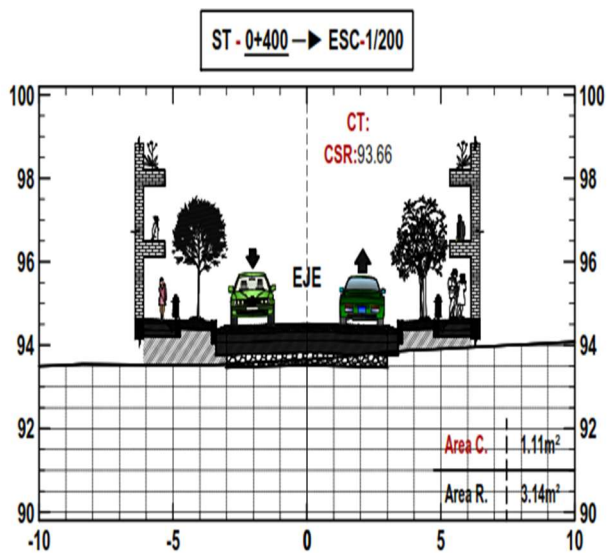
SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CALLE 10 DE AGOSTO



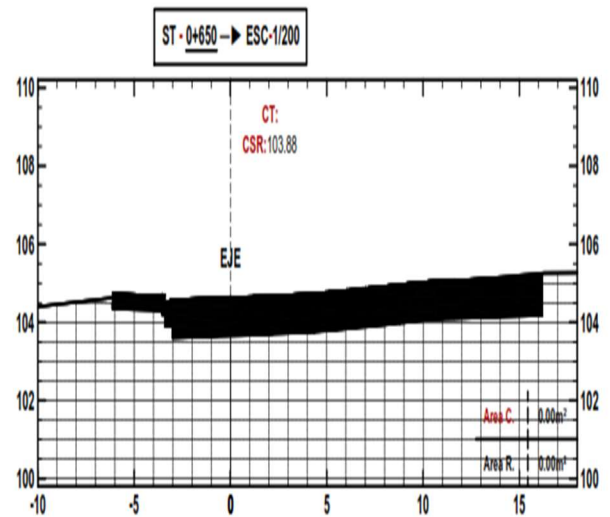
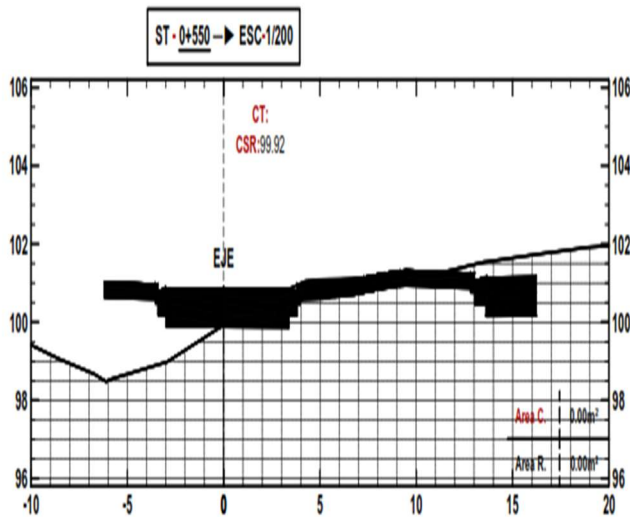
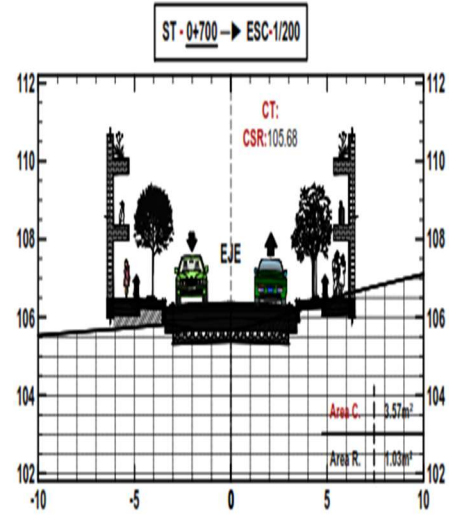
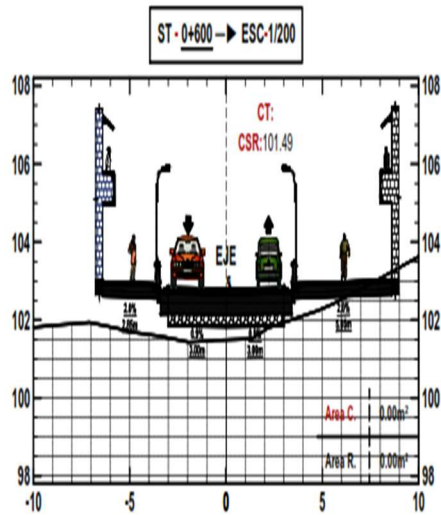
DESDE LA PROGRESIVA 0+000 A LA PROGRESIVA 0+150



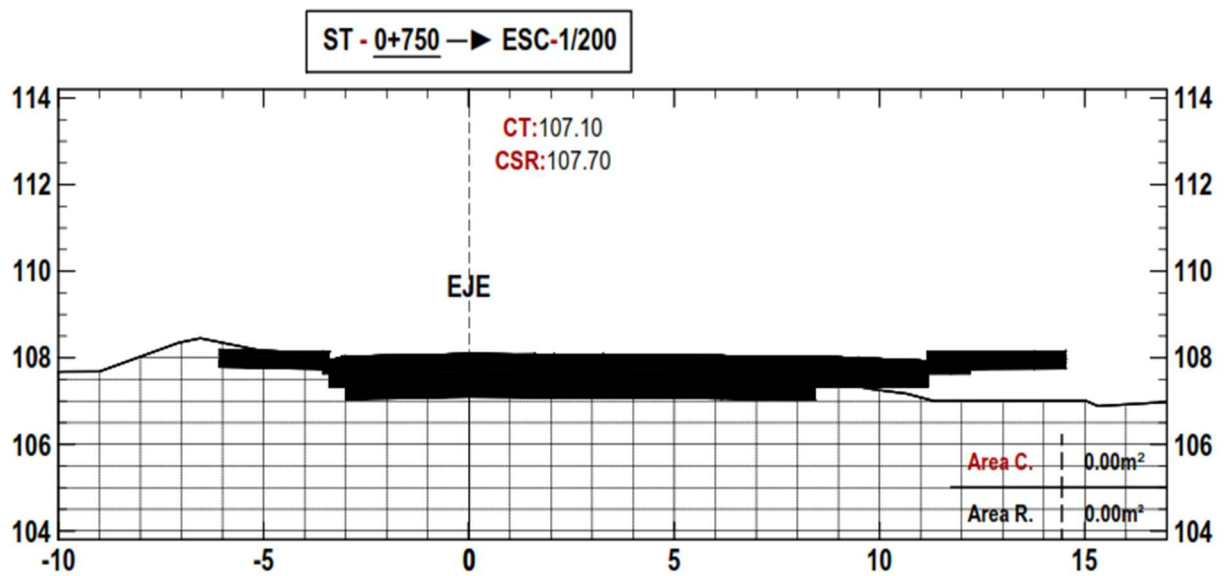
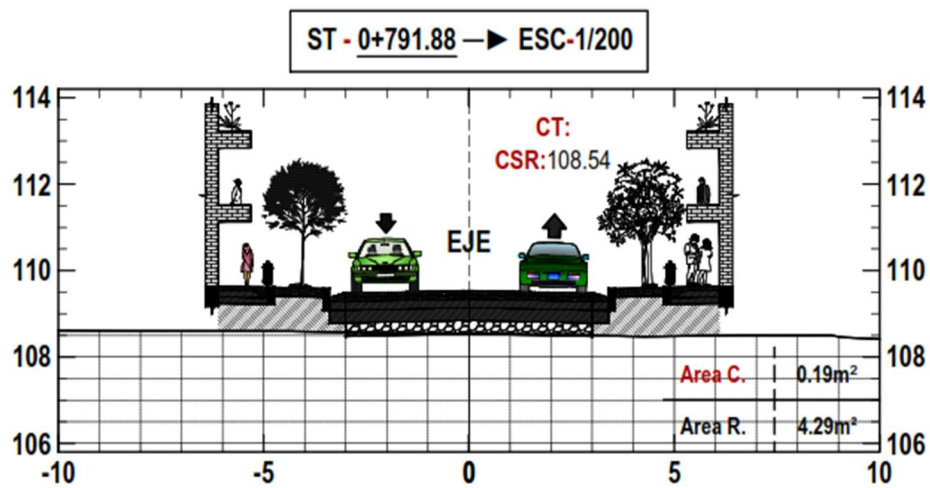
DESDE LA PROGRESIVA 0+200 A LA PROGRESIVA 0+300



DESDE LA PROGRESIVA 0+350 A LA PROGRESIVA 0+500



DESDE LA PROGRESIVA 0+550 A LA PROGRESIVA 0+700



DESDE LA PROGRESIVA 0+750 A LA PROGRESIVA 0+791.88

Volume Report

Aignment: CA. 10
 DE AGOSTO
 Sample Line Group: LM - CA. 10
 DE AGOSTO - 1
 Start Sta:
 0+000.000
 End Sta:
 0+791.877

Station	Cut Area (Sq.M.)	Cut Volume (Cu.M.)	Fill Area (Sq.M.)	Fill Volume (Cu.M.)	Cum. Cut Vol. (Cu.M.)	Cum. Fill Vol. (Cu.M.)	Cum. Net Vol. (Cu.M.)
0+000.000	0.37	-	5.41	-	-	-	-
0+050.000	-	-	9.06	96.07	1.85	516.83	514.98
0+100.000	-	-	6.10	64.79	1.85	894.01	892.16
0+150.000	0.89	5.32	2.87	33.29	13.14	1,103.26	1,090.12
0+200.000	2.08	21.01	2.09	20.19	86.35	1,230.63	1,144.28
0+250.000	-	-	-	-	166.71	1,273.24	1,106.53
0+300.000	0.03	1.74	5.73	51.08	179.06	1,381.16	1,202.10
0+350.000	-	-	7.15	35.75	179.20	1,445.54	1,266.34
0+400.000	1.11	7.71	3.14	35.15	191.92	1,707.60	1,515.68
0+455.000	-	-	-	-	299.69	1,779.58	1,479.89
0+500.000	-	-	11.40	102.14	326.76	2,026.44	1,699.68
0+550.000	-	-	-	59.45	326.76	2,338.77	2,012.01
0+600.000	-	-	-	-	326.76	2,338.77	2,012.01
0+650.000	-	-	-	-	380.57	2,408.80	2,028.23
0+700.000	3.57	40.31	1.03	8.36	504.64	2,420.35	1,915.71
0+750.000	-	-	-	-	605.49	2,451.77	1,846.28
0+791.877	0.19	0.67	4.29	7.91	615.63	2,551.01	1,935.38

Reporte de movimiento de tierra

COMPOSICION QUIMICA DEL VIDRIO PARA BOTELLAS DE ALCOHOL DE CONSUMO HUMANO

La composición química de las botellas de vidrio diseñadas para contener bebidas alcohólicas es fundamental para garantizar su seguridad, durabilidad y estética. Si bien la composición exacta puede variar ligeramente entre fabricantes y marcas, existe un consenso general sobre los principales componentes que conforman este tipo de vidrio.

Componentes Clave y su Función

Sílice (SiO_2): Es el componente principal y forma la estructura básica del vidrio. Le otorga dureza, resistencia química y térmica.

Sodio (Na_2O) y Potasio (K_2O): Actúan como fundentes, reduciendo el punto de fusión de la sílice y facilitando el proceso de fabricación.

Calcio (CaO): Aumenta la estabilidad química del vidrio, haciéndolo menos susceptible a la corrosión por líquidos ácidos o alcalinos, como algunos tipos de alcohol.

Magnesio (MgO): Mejora la resistencia mecánica del vidrio, ayudando a prevenir roturas y astillamientos.

Otros Óxidos: En menor proporción, pueden encontrarse otros óxidos como el aluminio (Al_2O_3), bario (BaO) o zinc (ZnO), que se añaden para conferir propiedades específicas, como mayor resistencia a los cambios térmicos o para obtener colores particulares.

¿Por qué esta composición?

La elección de estos componentes y sus proporciones se debe a varios factores:

Inercia química: El vidrio debe ser inerte para evitar reacciones químicas con el contenido, garantizando así la pureza y seguridad del producto.

Resistencia mecánica: Las botellas deben soportar los impactos y la presión interna, especialmente durante el transporte y almacenamiento.

Transparencia: La transparencia permite apreciar el color y la calidad del líquido.

Resistencia térmica: El vidrio debe resistir cambios bruscos de temperatura, como al pasar de un refrigerador a una mesa.

Estética: La composición del vidrio también influye en su brillo y apariencia, lo que puede ser importante para el diseño de la botella y la imagen de marca.

Rangos Aproximados de Composición del Vidrio para Botellas:

Sílice (SiO_2): 70-75%

Sodio (Na_2O) y Potasio (K_2O): 12-15%

Calcio (CaO): 8-12%

Magnesio (MgO): 2-4%

Otros Óxidos: 1-3% (Al_2O_3 , BaO , ZnO , etc.)

Importante: Estos valores son solo una guía y pueden variar significativamente dependiendo de los factores mencionados anteriormente.

Por qué estos rangos:

Sílice: Al ser el componente principal, su porcentaje es el más alto. Forma la estructura básica del vidrio y le confiere dureza y resistencia.

Sodio y Potasio: Estos óxidos actúan como fundentes, reduciendo el punto de fusión de la sílice y facilitando el proceso de fabricación.

Calcio y Magnesio: Estos óxidos aumentan la estabilidad química y mecánica del vidrio, respectivamente.

Otros Óxidos: Se añaden en pequeñas cantidades para conferir propiedades específicas, como color, resistencia a los cambios térmicos, etc.

El suelo natural corresponde a una arcilla inorgánica, de color gris, con una humedad promedio de 19.32%; de porcentaje apreciable de partículas finas (% que pasa la malla # 200 de 94.52%), de baja plasticidad; y de gravedad específica promedio de 2.47 gr/cm³ (ASTM D-854 / AASHTO T-100).

Tabla 36. Resultados Límite de Consistencia del suelo natural: ASTM D-422 /NTP 339.128

Resultados	
Límite Líquido	30.43
Límite Plástico	16.89
Índice Plástico	13.55
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

Tabla 37. Resultados Ensayo de Proctor Modificado del suelo natural. Método A (ASTM D1557)

Resultados	
MSD (máxima densidad seca)	1,699 gr/cm ³
OCH (óptimo contenido de humedad)	17,35 %
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

El promedio de % de humedad del suelo fue 19,32% (ASTM D-2216 /NTP 339.127). La densidad seca promedio fue de 1,669 gr/cm³.

El material natural alcanzó una máxima densidad seca de 1,699 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 17,35 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,614 gr/cm³.

Tabla 38. Resultados Razón de Soporte California CBR ASTM D-1883 suelo natural de cantera

Resultados		
Condición de la muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10,00 Lbs
Hinchamiento promedio		3,78 %
CBR	100% MDS	95% MDS
0,1 "	3,65%	2,58%
0,2 "		

Fuente: Propia

Tabla 39. Resultados Análisis granulométrico por tamizado del polvo de vidrio molido: ASTM D-422 /NTP 339.128

Malla	% que pasa	Características
N° 4	100,00	Polvo de vidrio de color blanco, con porcentaje reducido de partículas finas. El % que pasa la malla # 200 es 24,21%. Su clasificación según SUCS corresponde a un suelo tipo SM y según la AASHTO es un suelo A-2-4 (0).
N° 10	99,89	
N° 20	98,19	
N° 40	82,90	
N° 50	50,67	
N° 100	32,17	
N° 200	24,21	

Fuente: Propia

Tabla 40. Resultados Límite de Consistencia del polvo de vidrio: ASTM D-4318– T90 /NTP 339.129

Resultados		
Límite Líquido	NP	

Límite Plástico	NP	No se determinaron los límites de consistencia
Índice Plástico	NP	
Clasificación SUCS	SM	
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	

Fuente: Propia

A. Primer proceso de estabilización del suelo para material de reconformación de subrasante: Suelo natural + 2,0 % polvo de vidrio molido

Tabla 41. Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557)

Resultados	
MSD	1,781 gr/cm ³
OCH	16,20 %
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

El promedio de % de humedad del suelo + 2% de polvo de vidrio fue 16,23% (ASTM D-2216 /NTP 339.127). La densidad seca promedio fue de 1,737 gr/cm³.

El suelo natural + 2% de polvo de vidrio, alcanzó una máxima densidad seca de 1,781 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 16,20 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,692 gr/cm³. Un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 7.12% y 4.65%; y, un porcentaje de hinchamiento de 3.35%.

Tabla 42. Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883

Resultados		
Condición de la muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10,00 Lbs	
Hinchamiento promedio	3.35%	
CBR	100% MDS	95% MDS
0,1 "	7,12	4,65
0,2 "		

Fuente: Propia

B. Primer proceso de estabilización del suelo para material de reconformación de subrasante: Suelo natural + 5,0% polvo de vidrio molido

Tabla 43. Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557)

Resultados	
MSD	1,799 gr/cm ³
OCH	13,53 %
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

El promedio de % de humedad del suelo fue 13,163% (ASTM D-2216 /NTP 339.127). La densidad seca promedio fue de 1,773 gr/cm³.

El material natural alcanzó una máxima densidad seca de 1,799 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 13,53 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,709 gr/cm³.

Tabla 44. Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883

Resultados		
Condición de la muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10,00 Lbs
Hincharse promedio		No expansivo
CBR	100% MDS	95% MDS
0,1 "	12.01	10,11
0,2 "		

Fuente: Propia

C. Primer proceso de estabilización del suelo para material de reconformación de subrasante: Suelo natural + 7,5% polvo de vidrio molido

Tabla 45. Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1557)

Resultados	
MSD	1,892 gr/cm ³

OCH	13,32 %
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

El promedio de % de humedad del suelo fue 14.86% (ASTM D-1557 /NTP 339.127). La densidad seca promedio fue de 1,768 gr/cm³

El material natural alcanzó una máxima densidad seca de 1,892 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 13,32 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,797 gr/cm³.

Tabla 46. Razón de Soporte California CBR ASTM D 1557

Resultados		
Condición de la muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10,00 Lbs
Hinchamiento promedio		1.33%
CBR	100% MDS	95% MDS
0,1 "	25,47	14,15
0,2 "		

Fuente: Propia

D. Primer proceso de estabilización del suelo para material de reconfiguración de subrasante: Suelo natural + 10,00% polvo de vidrio molido

Tabla 47. Ensayo de Proctor Modificado. Método A (ASTM D1883)

Resultados	
MSD	1,983 gr/cm ³
OCH	10,93 %
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6 (10)

Fuente: Propia

El promedio de % de humedad del suelo fue 11,83% (ASTM D-2216 /NTP 339.127). La densidad seca promedio fue de 1,886 gr/cm³

El material natural alcanzó una máxima densidad seca de 1,983 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 10,93 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,884 gr/cm³.

Tabla 48. Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883

Resultados		
Condición de la muestra		4 días de saturación
Sobrecarga		10,00 Lbs
Hinchamiento promedio		0.89%
CBR	100% MDS	95% MDS
0,1 "	22,99	16,25
0,2 "		

Fuente: Propia

4.2. Discusión

El suelo natural cuya estabilidad se pretendió mejorar en la presente tesis, mediante la aplicación de polvo de vidrio molido, corresponde a una arcilla inorgánica, de color gris, con una humedad natural promedio de 19.32%; de porcentaje apreciable de partículas finas (94.52% de partículas pasan la malla # 200), de baja plasticidad; y de gravedad específica promedio de 2.47 gr/cm³; clasificada como CL según SUCS y según AASHTO como A-6 (10). Los ensayos de límites de consistencia de este suelo indican que tiene: LL=30,43, LP=16.89, IP=13.55.

La máxima densidad seca alcanzada fue de 1,699 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 17,35 %. El 95% de la M.D.S equivale a 1,614 gr/cm³; y, un valor de Razón de Soporte California CBR medido a 0,1% al 100% y al 95% de la MDS de 3.65 % y 2.58%, respectivamente.

Por su parte Manuyama y Najjar (2022), en su investigación en la Selva Peruana, trataron de mejorar la estabilidad, aplicando Terrasil a un suelo tipo SM (SUCS) y A-2-4 (0) (AASHTO) que contiene 18.48% de material fino que pasa la malla N° 200 y 9.23% de humedad natural,

LL=36.90, LP=26.97, IP=9.93, alcanzó una máxima densidad seca de 1,895 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 11,31 %; y, un valor de Razón de Soporte California CBR medido a 0,1% al 100% y al 95% de la MDS de 27,29% y 24,20%, respectivamente. Asimismo, Vásquez (2010), en el proyecto de pavimentación de la carretera Contamana – Aguas Calientes, también en la Selva Peruana, investigó la estabilización con cemento del suelo de un suelo clasificado, según SUCS y AASHTO al tipo SM o A-2-4(0), respectivamente; pero que tenía una MDS de 1,771 gr/cm³, OCH de 17,0 % y un Valor de Soporte California CBR de 18,12%.

El polvo de vidrio de color blanco procedió de botellas recicladas de envase de bebida alcohólica Pisco, correspondiente a suelo SM según SUCS y a A-2-4 según AASHTO; contenía un porcentaje reducido de partículas finas, pasando solo un 24.21% la malla # 200.

El suelo natural + 2% de polvo de vidrio molido arrojó una MDS de 1.781 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 16.20% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 7.12% y 4.65%, respectivamente y, un porcentaje de hinchamiento de 3.35%. El suelo natural + 5% de polvo de vidrio molido arrojó una MDS de 1.799 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 13.53% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 12.01% y 10.11%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 1.94%. El suelo natural + 7.5% de polvo de vidrio molido arrojó una MDS de 1.892 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 13.32% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 25.47% y 14.15%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 1.33%. El suelo natural + 10.0% de polvo de vidrio molido arrojó una MDS de 1.983 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 10.93% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 22.99% y 16.25%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 0.89%.

En los parámetros DMS igual a 1.699 gr/cm³ y OCH igual a 17.35% del Proctor modificado, del suelo natural con el se ha previsto reconformar la

subrasante de la calle de la calle 10 de Agosto – distrito San Juan Bautista, ciudad Metropolitana de Iquitos, no se pudo identificar variación altamente significativa atribuible a la adición de polvo de vidrio en la dosificación de 2% (DMS = 1.781 gr/cm³ y OCH = 16.20%), al 5% (DMS = 1.799 gr/cm³ y OCH = 13.53%), al 7.5% (DMS = 1.892 gr/cm³ y OCH = 13.33%) y al 10% (DMS = 1.983 gr/cm³ y OCH = 10.93%), coincidiendo en el sentido de los hallazgos de Noel (2022) para un suelo poco arcilloso y ligeramente plástico de la costa de Barranca – Perú (Noel, 2022, pp.151, 152). Asimismo, el CBR del suelo natural a 0.1” de 3.65 y 2.58 al 100% y 95% de la MDS, respectivamente; y, de las mezclas del suelo natural y adición de vidrio al 100% y 95% de la MDS, para la dosificación de 2%, se obtuvo un valor de CBR de 7.12 y 4.65, respectivamente y un hinchamiento promedio de 3.35%; al 5% el valor de CBR alcanzado fue de 12.01 y 10.11, respectivamente y un hinchamiento promedio de 1.94%; al 7.5% el valor del CBR alcanzó valores de 25.47 y 14.15, respectivamente y un hinchamiento promedio de 1.33% y al 10% los valores de CBR fueron de 22.99 y 16.25, respectivamente y un hinchamiento promedio de 0.89%; por lo cual, se concluye que desde la dosificación de 5% de polvo de vidrio el material que se obtiene si clasifica como bueno para reconformar una subrasante; coincidiendo de esta manera con los hallazgos de Noel (2022), para dosificaciones de polvo de vidrio similares y en suelos poco arcillosos y ligeramente plásticos (Noel, 2022, pp.151, 152). También Espinoza y Santiperi (2021, p.55), arriba a conclusiones semejantes para un suelo tipo arcilla inorgánica de baja plasticidad (13.33% de Índice de plasticidad), según SUCS (CL) y según AASHTO (A-6) de la carretera entre los Centros Poblados Collud- Ventarron, distrito de Pomalca, departamento de Lambayeque a la que adicionó porcentajes de 4%, 6% y 8% de vidrio triturado y obtuvo para la mezcla un nuevo suelo con una MDS 1.91gr/cm³ y un OCH de 13,15 con el 4%, 1.92gr/cm³ y un OCH de 11.62% con 6%, 1.93gr/cm³ y un OCH 10.71% con 8% de vidrio triturado en el ensayo de proctor modificado y un CBR al 95% de la MDS es de 8.80%,10.50% y 13.03% con la incorporación de 4%,6% y 8% de vidrio triturado respectivamente, y quien concluyó que el 8% de vidrio triturado resultó ser el porcentaje óptimo para la estabilización del suelo arcilloso de la citada carretera. (Espinoza y Santiperi, 2021, p.55).

Asimismo, Maraví (2021, p.2 y p.80), obtuvo como dosificación óptima la inclusión del vidrio de 2% y de PET es de 1% para un suelo arcilloso (CL) del Jr. 9 de diciembre, distrito de Quinua – Ayacucho. En el mismo sentido Bravo y López (2021, p.15, p.62) para un suelo arcilloso y expansivo de Talara – Piua, concluyó que al combinar polvo de vidrio y polvo de valvas de molusco disminuye el óptimo contenido de humedad, aumentan la resistencia del suelo y disminuyen las deformaciones transversales, reduce la filtración de agua y se logra un material bastante estable.

También Pusari & Quispe (2020) confirmó la mejora de la resistencia al corte al mejorar el ángulo de fricción y la cohesión de un suelo arcilloso en Talara – Perú al añadir 5% de fibras de polipropileno y polvo de vidrio reciclado, superando a otros aditivos como el caucho reciclado, cemento, cal; asimismo, encontró que la expansividad disminuye, concordando con los resultados de otros investigadores. Igualmente, se coincide con Poma (2016), quien con polvo de vidrio en adición de 5%, 7%, 10% de PVR, mejora la densidad seca máxima y la resistencia al corte de un suelo arcilloso de la ciudad de Huaráz y recomienda el empleo del polvo de vidrio reciclado para la estabilización de suelos arcillosos. Se coincide con los resultados logrados por Soberón Monja (2022), quien investigó un suelo arcilloso en la ciudad de Chiclayo - Perú.

Otros investigadores como Kusumastuti y Sepriyanna (2019, p.4), Rathee, Shivdasani, Sharma y Sharma (2018, p.6), Javed y Chakraborty (2020, p.3), Babatunde, Sani, & Sambo (2019) y Mahdi & Al-Hassnawi (2018), entre otros más, en sus investigaciones alrededor del mundo concluyen que el polvo de vidrio en porcentajes menores de 10% mejora las propiedades de suelos blandos, al disminuir el contenido de humedad y los límites de consistencia, incrementa la densidad seca máxima y el CBR.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

1. La aplicación de polvo de vidrio en dosificaciones de 2%, 5%, 7.5% y 10%, mejoran las propiedades físicas y mecánicas del suelo clasificado como arcilla inorgánica CL (SUCS) y A-6 (0) según AASHTO, convirtiéndolo en material apropiado a ser usado para reconformar la subrasante de la calle de la calle 10 de Agosto – distrito San Juan Bautista, ciudad Metropolitana de Iquitos,; con lo cual ha quedado aceptada y confirmada la hipótesis.
2. El polvo de vidrio reciclado para su uso como material estabilizante del suelo de la subrasante de la calle 10 de Agosto, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023, es de color blanco, proveniente de botellas de la bebida Pisco, está compuesto de: Sílice (SiO_2): 70-75%; Sodio (Na_2O) y Potasio (K_2O): 12-15%; Calcio (CaO): 8-12%; Magnesio (MgO): 2-4%; Otros Óxidos: 1-3% (Al_2O_3 , BaO , ZnO , etc.). El polvo de vidrio es un polvo químicamente inerte, no reacciona químicamente. El Sílice (SiO_2): forma la estructura básica del vidrio. Le otorga dureza, resistencia química y térmica. El Sodio (Na_2O) y Potasio (K_2O): Actúan como fundentes, reduciendo el punto de fusión de la sílice y facilitando el proceso de fabricación de botellas. Calcio (CaO): aumenta la estabilidad química del vidrio. El Magnesio (MgO): mejora la resistencia mecánica del vidrio. Otros Óxidos: como el aluminio (Al_2O_3), bario (BaO) o zinc (ZnO), confieren mayor resistencia a los cambios térmicos. Este polvo de vidrio, tiene un porcentaje reducido de partículas finas, solamente un 24.21% pasa la malla # 200. Su clasificación según SUCS corresponde a un suelo tipo SM y según la AASHTO es un suelo A-2-4 (0).
3. El suelo natural cuya estabilidad se pretendió mejorar en la presente tesis, mediante la aplicación de polvo de vidrio molido, corresponde

a una arcilla inorgánica, de color gris, con una humedad natural promedio de 19.32%; de porcentaje apreciable de partículas finas (94.52% de partículas pasan la malla # 200), de baja plasticidad; y de gravedad específica promedio de 2.47 gr/cm³; clasificada como CL según SUCS y según AASHTO como A-6 (10). Los ensayos de límites de consistencia de este suelo indican que tiene: LL=30,43, LP=16.89, IP=13.55. La máxima densidad seca alcanzada fue de 1,699 gr/cm³, para un óptimo contenido de humedad de 17,35 %; y, un valor de Razón de Soporte California CBR medido a 0,1% al 100% y al 95% de la MDS de 3.65 % y 2.58%, respectivamente.

4. Las características físicas y mecánicas que posee el material obtenido al incorporarse, en diferentes porcentajes, polvo de vidrio reciclado al suelo en estado natural para reconfigurar la subrasante de la calle de la calle 10 de Agosto – distrito San Juan Bautista, provincia de Maynas – 2023 son: **El suelo natural + 2% de polvo de vidrio** molido arrojó una MDS de 1.781 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 16.20% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 7.12% y 4.65%, respectivamente y, un porcentaje de hinchamiento de 3.35%. **El suelo natural + 5% de polvo de vidrio** molido arrojó una MDS de 1.799 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 13.53% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 12.01% y 10.11%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 1.94%. **El suelo natural + 7.5% de polvo de vidrio** molido arrojó una MDS de 1.892 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 13.32% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 25.47% y 14.15%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 1.33%. **El suelo natural + 10.0% de polvo de vidrio** molido arrojó una MDS de 1.983 gr/cm³ para un óptimo contenido de humedad de 10.93% y un valor CBR al 100% y 95% de la máxima densidad seca de 22.99% y 16.25%, respectivamente; y, un porcentaje de hinchamiento de 0.89%.

5. En los parámetros DMS igual a 1.699 gr/cm³ y OCH igual a 17.35% del Proctor modificado, del suelo natural con el se ha previsto reconformar la subrasante de la calle de la calle 10 de Agosto – distrito San Juan Bautista, ciudad Metropolitana de Iquitos, no se pudo identificar variación altamente significativa atribuible a la adición de polvo de vidrio en la **dosificación de 2%** (DMS = 1.781 gr/cm³ y OCH = 16.20%), **al 5%** (DMS = 1.799 gr/cm³ y OCH = 13.53%), **al 7.5%** (DMS = 1.892 gr/cm³ y OCH = 13.33%) y **al 10%** (DMS = 1.983 gr/cm³ y OCH = 10.93%). Asimismo, el **CBR** del suelo natural a 0.1” de 3.65 y 2.58 al 100% y 95% de la MDS, respectivamente; y, de las mezclas del suelo natural y adición de vidrio al 100% y 95% de la MDS, para la dosificación de **2%**, se obtuvo un valor de CBR de 7.12 y 4.65, respectivamente y un hinchamiento promedio de 3.35%; **al 5%** el valor de CBR alcanzado fue de 12.01 y 10.11, respectivamente y un hinchamiento promedio de 1.94%; **al 7.5%** el valor del CBR alcanzó valores de 25.47 y 14.15, respectivamente y un hinchamiento promedio de 1.33% y **al 10%** los valores de CBR fueron de 22.99 y 16.25, respectivamente y un hinchamiento promedio de 0.89%; por lo cual, se concluye que a partir de la dosificación de 5% de polvo de vidrio el material que se obtiene *si clasifica* como bueno para reconformar una subrasante.

6. Las ventajas técnicas que ofrece el polvo de vidrio reciclado frente a los aditivos químicos, para la estabilización y el mejoramiento del suelo natural arcilloso con cuya mezcla se ha previsto reconformar la subrasante de la calle de la calle 10 de Agosto – distrito San Juan Bautista, ciudad Metropolitana de Iquitos, radica en su fácil aplicabilidad durante la construcción de subrasante de la estructura del pavimento de esta vía, así como su efectividad comprobada por diversos investigadores alrededor del mundo, en la estabilidad y durabilidad en carreteras de bajo tránsito no pavimentadas, como la

que nos ocupa. Las ventajas económicas de este subproducto resultante del reciclado de botellas de vidrio frente a otros aditivos como la cal y el cemento que requieren porcentajes mayores para lograr CBR de entre 20 y 25%, resulta más económica, por su alto rendimiento y fácil aplicabilidad, garantiza mayor rendimiento. De cada botella convencional de envase de Pisco Peruano se obtiene 250 gr de polvo de vidrio molido, envases que de no de ser reciclados tardarían 5 mil años para degradarse y en tanto contaminan el ambiente. El polvo de vidrio es químicamente estable no contamina al ambiente y tampoco afecta al personal de obra al tener diámetros superiores a los absorbibles; asimismo, su adición en suelos arcillosos disminuye el Índice de grupo y tiende a mejorarlo modificándolo, a partir del 5%, de un arcilloso a un tipo arenoarcilloso (Soberón Monja, 2022).

5.2. Recomendaciones

A la luz de los resultados se recomienda:

- Proseguir con las investigaciones en esta línea, para estabilización de suelos arcillosos usando porcentajes de vidrio, más altos y de diámetro entre 75 μm y 300 μm ; y, estudiando las variaciones de los límites de consistencia, los valores de CBR, el pH, hasta determinar la dosificación óptima para suelos arcillosos ligeramente plásticos y de alta plasticidad.

Referencias Bibliográficas

1. Angulo Roldán, D. y Rojas Escajadillo, H.F. (2016). Ensayo de fiabilidad con aditivo PROES para la estabilización del suelo en el A.A.H.H El Milagro, 2016. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Científica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Iquitos – Perú. 98 pp.
2. Atarama Mondragón, E. (2015). Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES. (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería Civil.
3. Babatunde, O.A., Sani, J.E. y Sambo, A.H. (2019). Black Cotton Soil Stabilization using Glass Powder. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), 8(5), 5208-5214. DOI:10.15680/IJIRSET.2019.080.5053
4. Bravo Barrionuevo, B.E. y López Jara, H.A. (2021). Mejoramiento de las propiedades mecánicas utilizando vidrio y valvas de molusco en suelos arcillosos de la ciudad de Talara, Piura. (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Piura, Perú.
5. Capedo, J. (2008). “Estabilización de Suelo Arcilloso con Cal Hidratada, para ser utilizada como Capa Subrasante de Pavimentos en la Carretera Lima - Huacho”. (Tesis para optar título profesional). Universidad Privada Atenor Orrego de Chiclayo.
6. Carrillo-Gill, A. (1978). Características de los Suelos Tropicales del Perú. Revista Latinoamericana de Geotecnia, Vol. IV, N ° 4 pp.207-216, Caracas-Venezuela.
7. Carrillo-Gill, A., Carrillo, E., Cárdenas, J., Flores, J. (1993). Alternativas de estabilización de suelos tropicales húmedos para pavimentos,

memoria del VI Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima-Perú.

8. Carrillo-Gill, A. (2016). Diseño geotécnico en los suelos de la selva. Conferencia Especial. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/338810077/Diseño-Geotecnico-en-Suelos-de-La-Selva>.
9. Chavez Osorio, I. J.; Montes de Oca Lamas, A.; Rondoy Zavaleta, C. V.; Vargas Torres, R.P.; Velásquez García, E. 2019. Q'umir: Reutilización y transformación de botellas de vidrio a vasos. Trabajo de Investigación, para optar el grado de bachiller en Administración de Empresas. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Negocios. Programa Académico de Administración de Empresas. Lima - Perú. 102 p.
10. CONINFRA. (Congreso de Infraestructura de Transporte). (Tercer Congreso de Infraestructura de Transportes). (2009). Estabilización de suelos con cemento Portland y cal hidratada en pavimentos de la región amazónica del Perú. Sao Paulo, Brasil. ANDIT (Asociación Nacional de Infraestructura de Transporte). 27 p.
11. Coronado Omar (2020). Estabilización de suelos granulares no cohesivos aplicando bacterias calcificantes. Revista Científica Institucional Tzhoecoen [en línea]. 03 de enero del 2020, vol 12, n°1. [fecha de consulta: 12 de marzo 2023]. Disponible en:
<http://revistasuss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/1250>. ISSN: 1997-8731
12. Crespo Villalaz, C. (2007), Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Sexta Edición. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
13. Cristóbal Calderón, Miguel Angel. (2015). Estabilización Iónica de Suelos con Terrasil en los contratos de mantenimiento y conservación

- Vial. (Informe de Suficiencia para optar el título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería- Lima, Perú. 76 p.
14. Cubas Kevin y Falen José (2016). Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas. (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. 2016. Disponible en <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/3134>
 15. Das Braja, M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México D.F. Thomson Learning. 587 p.
 16. Díaz J. y Mejía J. (2004). Estabilización de Suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorgánicos. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia. 362p.
 17. DP Kusumastuti y YO Sepriyanna (2019). Soft Soil Stabilization with Rice Husk Ash and glass powder based on physical characteristics. Materials Science and Engineering [en línea]. 17 de junio de 2019, vol. 650. [Fecha de consulta 12 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/650/1/012025>
ISSN: 2015-6264.
 18. Elizondo Arrieta, I., & Sibaja Obando, I. (2008). Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José. San Pedro de Montes de Oca: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
 19. Espinoza Céspedes, Luis Eduardo y Santimperi Álcantara, Gabriela Lisset (2021). Uso del vidrio reciclado en la mejora de la estabilización de suelos de la carretera Tramo Collud – Ventarrón, Pomalca –

- Lambayeque – 2021. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Chiclayo: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
20. Fernández Loaiza, C. (1991). Mejoramiento y estabilización de suelos. Editorial Limusa. México.
21. Gárnica A. Paul et al. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. Publicación técnica N° 197. Instituto Mexicano del Transporte. SCT. Sanfandila, Querétano. México.
22. Gárnica A. Paul et al. (2002). Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación Técnica N° 201. Instituto Mexicano del Transporte. Ciudad de México. México.
23. Gowtham S., Noveenkumar A. Ranjithkumar R., Vijayokumar P. y Sivaraja M. Stabilization of Clay Soil by Using Glass and Plastic Waste Powder. International Journal of Engineering and Techniques [en línea]. 02 de abril de 2018, vol. 4. N°2. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/36679410/Stabilization_of_Clay_Soil_by_Using_Glass_and_Plastic_waste_Powder ISSN: 2395-1303.
24. Guevara, G. (2016). “Procedimientos Para Mejorar las Características Resistentes de Suelos, Adicionando Residuos Industriales para la Construcción de Vías de la Ciudad de Juliaca”. (Tesis para optar título profesional). Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”.
25. Gutierrez Montes, Carlos Alberto. (2010). Estabilización Química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio. (Tesis, para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Universidad Ricardo Palma. Perú. 161p.
26. Haro Marchena, Luis Miguel. (2021). Efecto de la Adición de vidrio

reciclado en la estabilización de suelo arenoso en el A.H. Villa Hermosa, Nuevo Chimbote. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. 2021.

27. Hidalgo Reátegui Fredy Roland y Hidalgo Reategui José. (2020). “Estabilización química de subrasantes de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación de aditivos Terrasil y Proes en vía de acceso “Moralillos”, Loreto, 2018”. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Científica Del Perú, Programa Académico de Ingeniería Civil. 131 p.
28. Holtz, R.; Kovacs, W. & Sheahan, T. (2011). “An Introduction to Geotechnical Engineering”. Second Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA.
29. Huevo Maldonado, Heber Manrique y Orellana Martinez, Alber Cristian. (2009). “Guía Básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador”. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil. San Salvador, El Salvador. Febrero 2009. 261 pg.
30. IECA (Instituto Español del cemento y sus aplicaciones); ANCADE (Asociación Nacional de Fabricantes y Derivados de España); ANTER (Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes). (2003). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid, España. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. 205 p.
31. Jara Anyaypoma, Robinson. (2014). Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. (Tesis, para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. 110 p.

32. Javed Aaqib y Chakraborty Sudipta (2020). Effects of Waste Glass Powder on Subgrade Soil Improvement. *World Scientific News* [En línea]. 19 de marzo de 2020, vol. 144. [Fecha de consulta: 03 de abril de 2023]. Disponible en: <http://psjd.icm.edu.pl/psjd/element/bwmeta1.element.psjd-131cc43d-8284-4434-99c5-f7ea64ab8d9f>
33. Juárez Badillo, E; Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos*. Tomo I. México, Limusa. 629 p.
34. KRAEMER, C. (2009). *Ingeniería de Carreteras (volumen I)* 2da. Edición. Editorial S.A. MCGRAW-HILL, Interamericana de España.
35. Kukko, H. (2000). "Stabilization of clay with inorganic by – products". "Journal Of materials in Civil Engineering 2000".
36. Lambe, T.W. & Whitman, R. (1995). *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa S.A de C.V. Grupo Noriega Editores. 582 p.
37. Liu, T. 1967. "A Review of Engineering Soil Classification Systems", Highway Research Record. USA
38. Mahdi, Z.A. y Al-Hassnawi, N.S. (2018). Assessment of subgrade soil improvement by waste glass poder. Universidad de Al – Qadisiyoh de Iraq. *International of Civil Engineering and Technologi (IJCIET)*, 9 (10), 12 – 21. Recuperado de: <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?jtype=ijcie&vtype=9&itype=10>
39. Maraví Jesús (2021). *Estabilización de suelo arcilloso con vidrio y PET*, en el Jr. 9 de diciembre, distrito de Quinua – Ayacucho, 2021. (Tesis para obtener el título profesional de Ing. Civil). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65068>
40. Márquez Santiago. (2005). *Estabilización de Suelos*. Universidad

Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Comodoro Rivadavia, Argentina.

41. Martínez Navarro, Georgina G. (2011). Correlación de las fallas en pavimentos con respecto a la estabilización de suelos en las capas de base y sub base. Tesis. Veracruz, México
42. Martínez Santos, J. (2012). Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Civil - Región Xalapa. México. 122 p.
43. Mas, M.I., García, E.M., Marco, L.J., y Jaime, D.M. (2016). Análisis de la factibilidad medioambiental de la aplicación de morteros producidos con polvo de vidrio en la estabilización de suelos. Información Tecnológica, 27 (5), 77 – 86. DOI: 10.4067/S0718-07642016000500010.
44. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2004). Estabilización química de suelos- Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado. Norma técnica de Estabilizadores Químicos. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles DGC y F- Perú, Lima.
45. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2005). Manual para El Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito. (P. e.-P. Rural, Ed.) Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
46. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2006). Manual Técnico de Mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles DGC y F- Perú, Lima.
47. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2008).

Normas conceptuales, de cantidad y de ejecución. Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Volumen I. Lima. Pág 29.

48. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2008). Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo tránsito. Aprobado por la Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02 del 04 de abril del año 2008.
49. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2008). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, 2008.
50. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2010). Manual de Especificaciones Técnicas Generales, para la Construcción de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito; Suelos Estabilizados con Cal. MTC., de la República del Perú.
51. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima, Perú. 346 p.
52. Montejó Fonseca, A. (2006). Ingeniería de Pavimentos, Edición 3, Editorial Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2006.
53. Motta L.M.G. (1991). Método de Dimensionamiento de pavimentos Fléxiveis; criterio de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Brasil.
54. Muhammad, S. Khan, Muhammad, T. & Mateeullah. (2018). Effects to waste glass poder on the geotechnical properties. *Civil Engineering Journal*, 4 (19), 2044 – 2051. Pakistán. DOI:

55. Muelas Rodriguez, A. s.f. Manual de mecánica del suelo y Cimentaciones: Mecánica de suelos y cimentaciones. Capítulo 1. 119 p.
56. National Lime Association. (2004). Manual de estabilización de Suelos tratado con cal. Estabilización y Modificación con Cal. Publicación de la Nacional LIME Asociation, Boletín 326, México. p 42.
57. Noel Cornelio Esther Noemí (2022). Estabilización de suelo utilizando polvo de vidrio reciclado en jirón Miguel Grau Seminario, urbanización La Florida, Barranca. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Nacional de Barranca. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
58. Nuñez Rojas, D. (2011). Elección y Dosificación del Conglomerante en estabilización de Suelos. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Instituto Tecnológico de Sonora. México. 61 p.
59. Ñaupari Aparicio Jordan Matheus. (2021). Propuesta de estabilización de una arena arcillosa de mediana plasticidad analizado el CBR, óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca utilizando cal al 2%, 4% y 6% y aceite sulfonado al 1%, 2% y 3%. (Tesis). Universidad Privada Del Norte. Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil. Lima Norte 2021.
60. Palli Apaza E. (2015). Guía Básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Altiplano- Puno. 184 p.
61. Perez Collantes, R. (2012). Estabilización de Suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o Sub base

- de pavimentos. (Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú. 89 p.
62. Poma Castillo, K.A. (2016). Estabilización de suelos con polvo de vidrio reciclado. (Tesis de grado). Universidad Privada San Pedro. Huaraz, Perú.
 63. Pusari Quispe, O.A. y Rodriguez Machuca, J.Y. (2020). Estudio experimental de mejoramiento de las propiedades de resistencia al corte de un suelo expansivo con polvo de vidrio reciclado y fibras de polipropileno en la ciudad de Talara, departamento de Piura. (Tesis de Grado). Universidad de Ciencias Aplicadas – Filial UPC, Piura.
 64. Rathe Ajeet, Shivdasani Geet, Sharma Shubham y Sharma Yash. (2018, p.6). Soil Stabilization using Powdered Glass. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) [en línea]. Mayo de 2018, vol. 5, n° 5. ISSN: 2395-0056. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V5/i5/IRJET-V515204.pdf>. ISSN: 2395-0056
 65. Requejo Ricardo (2019). Estabilización de suelos arenosos utilizando Oryza sativa (arroz), Pueblo Joven Las Dunas – Lambayeque – Perú, 2019. (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, 2020. [Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7706>
 66. Rico, A; Castillo H. 2005. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México. Limusa. V.2, 645 p.
 67. Rozas, P. y Sánchez, R. (2004). Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual. CEPAL, Serie Recursos

Naturales. Publicación de Naciones Unidas. Santiago, Chile, octubre.

68. Salas Mercado Dante. (2017). Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo Terrasil para el mejoramiento de la base del Km 11+000 al Km 9+000 de la carretera Puno – Tiquilla – Mañazo. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería y Ciencias Puras – Escuela profesional de Ingeniería Civil. Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” – Juliaca, Puno – Perú. 279 p.
69. Sampedro Rodríguez A. (1997). Tratamiento de Suelos con cal. Madrid. Editorial Ancada.
70. Soberón Monja, B. B. (2022). Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos en la Urb. Ciudad del Chofer, Chiclayo 2019. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Ambiental). Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería Civil Ambiental. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
71. Sánchez Pérez, Crosby J., y Terrones García Renzo A. (2020). Estabilización de suelos utilizando híbrido de polvo de concha de abanico y vidrio reciclado, Huacacorral. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2020. Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57413>.
72. Taipe Gutierrez, W. y Pillaca Yancce, B. (2014). Propuesta técnica y económica del uso de aditivo sika 21 y T- Pro-500 para el mejoramiento de las propiedades físicas – mecánicas de la superficie de rodadura en las carreteras no pavimentadas. (Tesis, para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería de Minas – Civil, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú. 156 p.
73. Ugaz Palomino R. M. (2006). Estabilización de Suelos y su

aplicación en el mejoramiento de subrasante. (Tesis, para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 383 p.

74. Vázquez Concha, M. D. (2010). Pavimentos No Tradicionales para carreteras de Selva Baja con bajo volumen de tránsito, aplicación: Carretera Contamana – Aguas Calientes, Loreto. (Tesis, para optar el Título de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. 271 p.

Anexos

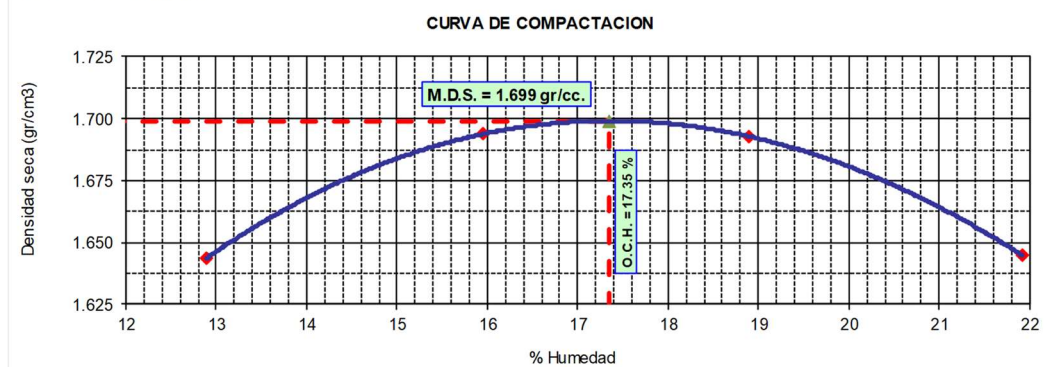
Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Datos de campo:		Resultados	
Nombre de Cantera	: C-01	M. D. S.	1.699 gr/cm ³
Muestra	: M-1	O. C. H.	17.35 %
Ubicación	: Calle 10 de Agosto	Clas. SUCS	CL
Profundidad	: Acopio de zona de exploracion	Clas. AASHTO	A-6 (10)
Fecha de ensayo	: 25/05/2024		

1.- Compactación				
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5903	6005	6051	6044
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1744	1846	1892	1885
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.855	1.964	2.013	2.005

2.- Humedad (%)								
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	100.57	117.25	114.76	102.35	128.76	97.53	110.31	109.59
Recipiente + suelo seco (gr.)	93.28	109.10	105.59	94.70	116.74	89.26	97.56	96.69
Peso de recipiente (gr.)	36.98	45.55	48.04	46.76	53.08	45.55	39.47	37.77
Peso de agua (gr.)	7.29	8.15	9.17	7.65	12.02	8.27	12.75	12.90
Peso de suelo seco (gr.)	56.30	63.55	57.55	47.94	63.66	43.71	58.09	58.92
Humedad (%)	12.95	12.82	15.93	15.96	18.88	18.92	21.95	21.89
Promedio Humedad (%)	12.89			15.95		18.90		21.92
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.644			1.694		1.693		1.645



ESPECIFICACIONES	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "C".
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los tesisistas.
RESULTADOS	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.699 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 17.35 %. Según el valor de la humedad óptima obtenida, se recomienda determinar el contenido de materia orgánica de la muestra.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

Datos de campo:				Datos de proctor /clasificacion de suelos				
Nombre de Cantera	:	C-01		M. D. S.	:	1.699	gr/cm3	
Muestra	:	M-1		O. C. H.	:	17.35	%	
Ubicación	:	Calle 10 de Agosto		Clas. SUCS	:	CL		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion		Clas. AASHTO	:	A-6 (10)		
Molde	Nº	17		18		26		
Capas	Nº	5		5		5		
Golpes por capa	Nº	12		25		56		
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12259	12740	12630	12994	13305	13544	
Peso del molde	Gr.	8559	8559	8653	8653	9058	9058	
Volúmen del suelo	c.c.	2133	2133	2138	2138	2132	2132	
Peso del suelo húmedo	Gr.	3700	4181	3977	4341	4247	4486	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.735	1.960	1.860	2.030	1.992	2.104	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	105.91	129.15	103.36	134.38	101.05	128.64	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	97.04	111.14	95.86	113.96	91.92	110.01	
Peso de la Recipiente	Gr.	45.63	53.82	52.36	49.44	39.02	48.84	
Peso del agua	Gr.	8.87	18.01	7.50	20.42	9.13	18.63	
Peso del suelo seco	Gr.	51.41	57.32	43.50	64.52	52.90	61.17	
Humedad	%	17.25	31.42	17.24	31.65	17.26	30.46	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.480	1.492	1.587	1.542	1.698	1.613	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
26 de Mayo de 2024		0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
27 de Mayo de 2024		1	0.120	2.63	0.166	3.64	0.130	2.85
28 de Mayo de 2024		2	0.169	1.07	0.183	0.37	0.151	0.46
29 de Mayo de 2024		3	0.172	0.07	0.185	0.04	0.153	0.04
30 de Mayo de 2024		4	0.174	0.04	0.187	0.04	0.156	0.07
PENETRACION								
Penetración	Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
			Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025		0.63	9.7	0.49	9.3	0.47	12.3	0.63
0.050		1.27	15.6	0.79	17.2	0.88	23.7	1.21
0.075		1.90	21.6	1.10	25.2	1.28	37.0	1.88
0.100		2.54	28.7	1.46	34.0	1.73	50.4	2.57
0.150		3.81	41.9	2.13	53.6	2.73	82.9	4.22
0.200		5.08	53.6	2.73	72.6	3.70	116.7	5.94
0.250		6.35	64.5	3.28	91.4	4.65	149.2	7.60
0.300		7.62	73.4	3.74	108.6	5.53	177.0	9.01
ANILLO		CAPACIDAD		SOBRECARGA		K = 19.64 cm2		

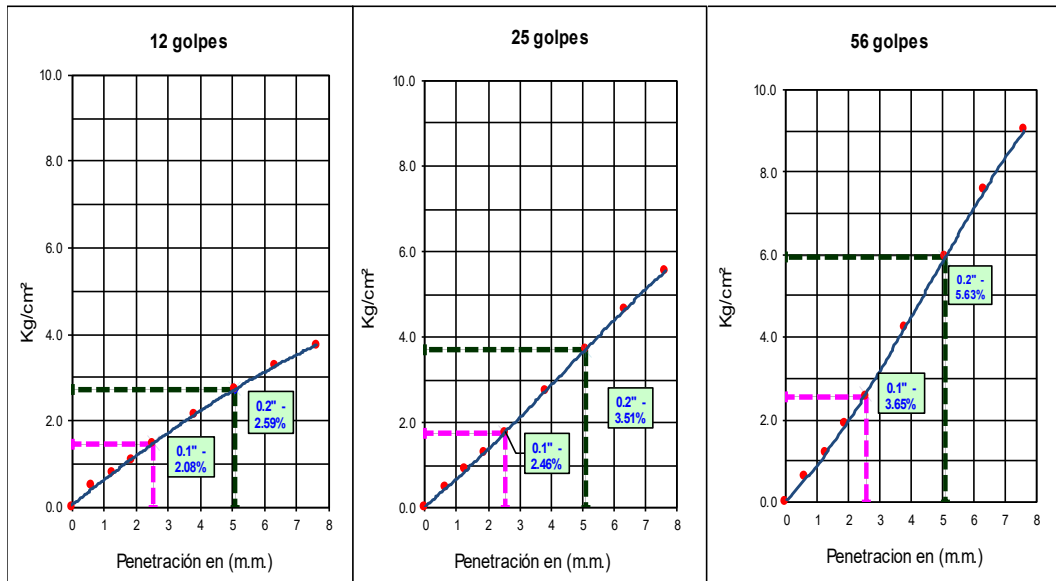
OBSERVACIONES

: La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

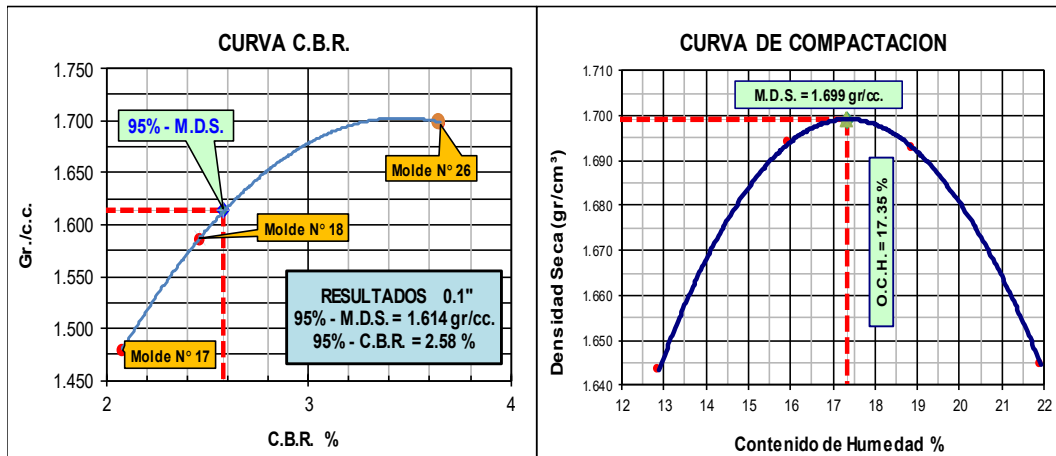
**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

Datos de campo:		Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883			
Nombre de Cantera	: C-01	Condición de la Muestra	4 días de saturación		
Muestra	: M-1	Sobrecarga	10.00 lbs.		
Ubicación	: Calle 10 de Agosto	Hinchamiento promedio	3.78%		
Profundidad	: Acopio de zona de exploracion	C.B.R.	100% MDS	95% MDS	
Datos de Proctor	: M.D.S. = ##### O.C.H. = 17.35 %	0.1"	3.65	2.58	

GRAFICOS DE ENSAYO DE C.B.R.



GRAFICOS DE INTERPRETACION DE ENSAYO DE C.B.R. / GRAFICO DE CURVA DE COMPACTACION - PROCTOR



OBSERVACIONES: : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

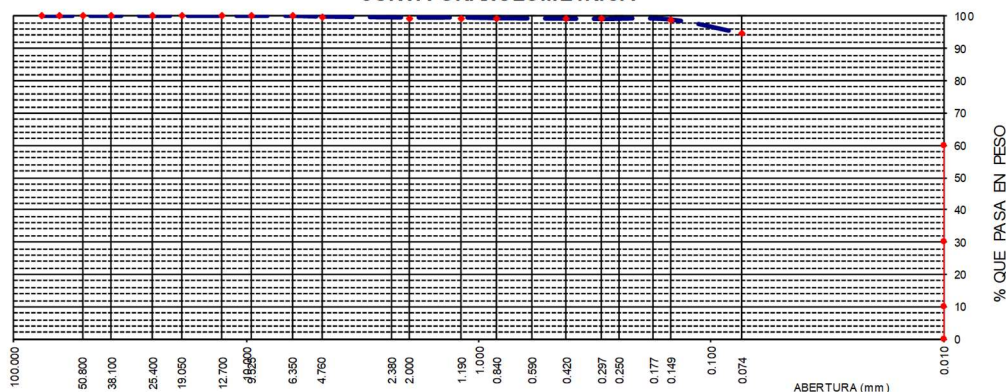
Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422 / NTP 339.128

Datos de campo:							
Nombre de Cantera :		C-01					
Muestra :		M-1					
Ubicación :		Calle 10 de Agosto					
Profundidad :		Acopio de zona de exploracion					
Fecha de ensayo :		24/05/2024					
Peso de muestra seca :		131.44 gr.					
Peso de muestra lavada :		7.20 gr.					
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Específic.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 30.43
2"	50.800						L. Plástico : 16.89
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 13.55
1"	25.400						Clas. SUCS : CL
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-6 (10)
1/4"	6.350				100.00		
Nº4	4.760	0.28	0.21	0.21	99.79		
Nº10	2.000	0.41	0.31	0.52	99.48		
Nº20	0.840	0.25	0.19	0.72	99.28		
Nº40	0.420	0.21	0.16	0.87	99.13		
Nº50	0.297	0.12	0.09	0.97	99.03		
Nº100	0.149	0.26	0.20	1.16	98.84		
Nº200	0.074	5.67	4.31	5.48	94.52		
Pasa Nº200		124.24	94.52				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES :	El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001
OBSERVACIONES :	La muestra corresponde a un suelo alterado, fue muestreada e identificada por los tesisistas.
RESULTADOS :	Arcilla inorgánica, de color gris, húmeda; porcentaje apreciable de partículas finas, de baja plasticidad, clasificada como (CL) A-6 (10). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 94.52 %

Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D-2216 / NTP 339.127

Datos de campo:

Nombre de Cantera : C-01
 Ubicación : Calle 10 de Agosto
 Profundidad : Acopio de zona de exploracion
 Fecha de ensayo : 24/05/2024

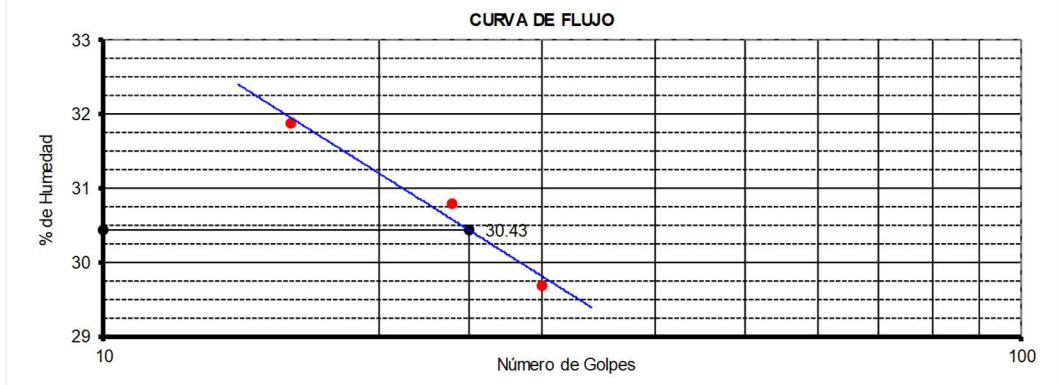
ENSAYO N°	1	2	3
PESO DE SUELO HUMEDO + TARA (gr.)	230.63	182.15	131.51
PESO DE SUELO SECO + TARA (gr.)	200.78	160.32	116.94
PESO DE LA TARA	45.62	44.25	43.74
PESO DEL AGUA	29.85	21.83	14.57
PESO DE SUELO SECO	155.16	116.07	73.20
% DE HUMEDAD	19.24	18.81	19.90
PROMEDIO DE HUMEDAD (%)	19.32		

ESPECIFICACIONES : El contenido de humedad del suelo se realizó según las Normas ASTM D-2216 y NTP 339.127
OBSERVACIONES : La muestra corresponde a un suelo alterado, fue muestreada e identificada por los testistas.
RESULTADOS : El promedio del porcentaje de Humedad del Suelo es 19.32 %

Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA. PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM D-4318 / NTP 339.129

Datos de Campo		Resultados	
Nombre de Cantera	: C-01	Límite Líquido	30.43
Muestra	: M-1	Límite Plástico	16.89
Ubicación	: Calle 10 de Agosto	Ind. Plástico	13.55
Profundidad	: Acopio de zona de exploracion	Clas. SUCS	CL
Fecha de ensayo	: 24/05/2024	Clas. AASHTO	A-6 (10)
Límite Líquido ASTM D 4318 - T 89			
ENSAYO N°	1	2	3
N° de Golpes	16	24	30
R + Suelo Hum.	70.05	65.63	69.17
R + Suelo Seco	64.43	61.41	65.35
Peso de la Tara	46.80	47.70	52.48
Peso de agua	5.62	4.22	3.82
Peso de S. Seco	17.63	13.71	12.87
% de Humedad	31.88	30.78	29.68
Límite Plástico ASTM D 4318 - T 90			
ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.	50.71	46.58	61.59
R + Suelo Seco	49.05	45.28	59.83
Peso de la Tara	39.60	37.47	49.13
Peso de agua	1.66	1.30	1.76
Peso de S. Seco	9.45	7.81	10.70
% de Humedad	17.57	16.65	16.45



ESPECIFICACIONES	: Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para límite líquido y límite plástico ASTM D 4318 - T 90, NTP 339.129.
OBSERVACIONES	: La muestra corresponde a un suelo alterado, fue muestreada e identificada por los tesisistas.
RESULTADOS	: En los ensayos realizados a la muestra se obtuvo LL = 30.43, LP = 16.89 e IP = 13.55.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS
ASTM D-854 / AASHTO T-100

Nombre de Cantera	:	C - 01		
Muestra	:	M-1		
Ubicación	:	Calle 10 de Agosto		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion		
Fecha de ensayo	:	24/05/2024		
N° de picnometro	(gr)	3	4	1
Peso de tara	(gr)	356.98	284.94	310.77
Peso de tara + muestra seca	(gr)	398.24	371.91	369.89
Muestra seca	(gr)	41.26	86.97	59.12
Peso de picnometro lleno de agua	(gr)	869.32	834.00	833.22
Peso de picnometro + muestra + agua hasta enrase	(gr)	894.08	885.75	868.44
Coeficiente de temperatura ⁽¹⁾		0.99690	0.99720	0.99710
Gravedad especifica	Gs	2.493	2.462	2.466
Temperatura del agua	°C	31.7	30.9	31.2

⁽¹⁾ Tabla 2 Norma ASTM D-854

ESPECIFICACIONES	:	El ensayo de Gravedad Especifica de los Solidos, esta especificada según las Normas ASTM D-854 y AASHTO T-100.
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada, trasladada e identificada por el solicitante.
RESULTADOS	:	En los ensayos realizados se obtuvieron como resultado la gravedad especifica de los suelos.

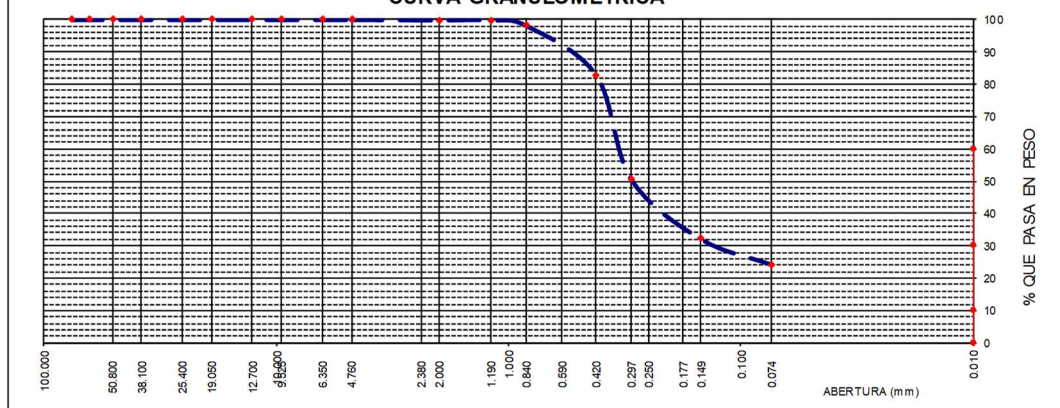
Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D - 422 / NTP 339.128

Datos de campo:						
Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio				
Muestra	:	M-1				
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)				
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion				
Fecha de ensayo	:	24/05/2024				
Peso de muestra seca	:	221.57 gr.				
Peso de muestra lavada	:	167.92 gr.				
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific. Observaciones
2 1/2"	63.500					L. Líquido : NP
2"	50.800					L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100					Ind. Plástico : NP
1"	25.400					Clas. SUCS : SM
3/4"	19.050					Clas. AASHTO : A-2-4 (0)
1/4"	6.350					
Nº4	4.760				100.00	
Nº10	2.000	0.25	0.11	0.11	99.89	
Nº20	0.840	3.77	1.70	1.81	98.19	
Nº40	0.420	33.87	15.29	17.10	82.90	
Nº50	0.297	71.40	32.22	49.33	50.67	
Nº100	0.149	41.00	18.50	67.83	32.17	
Nº200	0.074	17.63	7.96	75.79	24.21	
Pasa Nº200		53.65	24.21			

CURVA GRANULOMETRICA

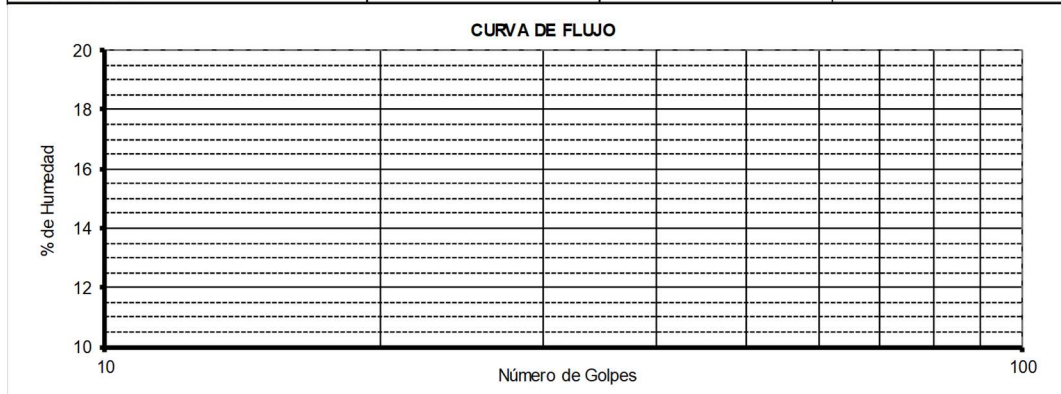


ESPECIFICACIONES	:	El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a un suelo alterado, fue muestreada e identificada por los testistas.
RESULTADOS	:	Arena limosa, de color blanco, húmeda; porcentaje reducido de partículas finas, clasificada como (SM) A-2-4 (0). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 24.21 %

Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM D-4318 / NTP 339.129

Datos de Campo		Resultados	
Nombre de Cantera	: Polvo de vidrio	Límite Líquido	NP
Muestra	: M-1	Límite Plástico	NP
Ubicación	: Ciudad de Iquitos (reciclado)	Ind. Plástico	NP
Profundidad	: Acopio de zona de exploracion	Clas. SUCS	SM
Fecha de ensayo	: 24/05/2024	Clas. AASHTO	A-2-4 (0)
Límite Líquido ASTM D 4318 - T 89			
ENSAYO N°	1	2	3
N° de Golpes			
R + Suelo Hum.			
R + Suelo Seco			
Peso de la Tara			
Peso de agua			
Peso de S. Seco			
% de Humedad			
Límite Plástico ASTM D 4318 - T 90			
ENSAYO N°	1	2	3
R + Suelo Hum.			
R + Suelo Seco			
Peso de la Tara			
Peso de agua			
Peso de S. Seco			
% de Humedad			



ESPECIFICACIONES : Los Límites de consistencia está especificado según las Normas ASTM D 4318 - T89 para limite liquido y limite plástico ASTM D 4318 - T 90, NTP 339.129.

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a un suelo alterado, fue muestreada e identificada por los tesisistas.

RESULTADOS : En los ensayos realizados a la muestra no se obtuvieron limites de consistencia.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS
ASTM D-854 / AASHTO T-100

Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio		
Muestra	:	M-1		
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploración		
Fecha de ensayo	:	24/04/2024		
N° de picnómetro	(gr)	2	3	4
Peso de tara	(gr)	297.77	356.98	284.94
Peso de tara + muestra seca	(gr)	407.14	464.58	393.30
Muestra seca	(gr)	109.37	107.60	108.36
Peso de picnómetro lleno de agua	(gr)	839.88	869.32	834.00
Peso de picnómetro + muestra + agua hasta enrase	(gr)	894.30	922.99	887.77
Coeficiente de temperatura ⁽¹⁾		0.99700	0.99770	0.99710
Gravedad específica	Gs	1.984	1.991	1.979
Temperatura del agua	°C	31.4	29.2	31.2

⁽¹⁾ Tabla 2 Norma ASTM D-854

ESPECIFICACIONES	:	El ensayo de Gravedad Específica de los Sólidos, está especificada según las Normas ASTM D-854 y AASHTO T-100.
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada, trasladada e identificada por el solicitante.
RESULTADOS	:	En los ensayos realizados se obtuvieron como resultado la gravedad específica de los suelos.

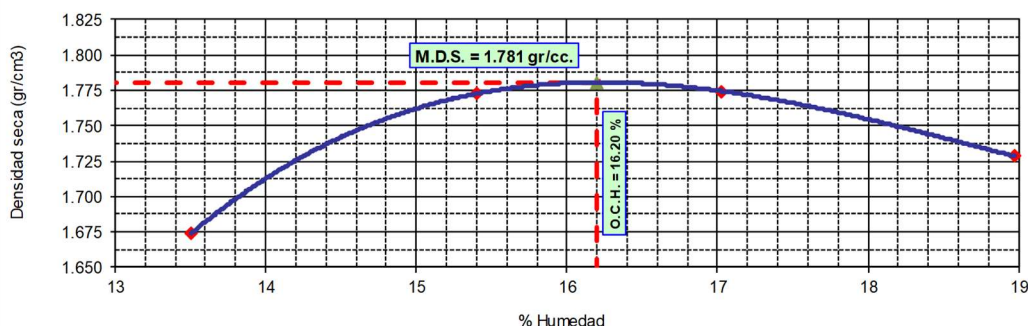
Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Datos de campo:		Resultados	
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 2%	M. D. S.	1.781 gr/cm ³
Muestra :	M-1	O. C. H.	16.20 %
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Clas. SUCS	CL
Profundidad :	Acopio de zona de exploracion	Clas. AASHTO	A-6 (10)
Fecha de ensayo :	25/05/2024		

1.- Compactación								
Prueba N°	1	2	3	4				
Numero de capas	5	5	5	5				
Numero de golpes	25	25	25	25				
Peso suelo + molde (gr.)	5945	6082	6111	6092				
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159				
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940				
Peso suelo compactado (gr.)	1786	1923	1952	1933				
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.900	2.046	2.077	2.056				
2.- Humedad (%)								
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	118.07	110.85	111.94	116.62	94.23	95.18	112.86	120.66
Recipiente + suelo seco (gr.)	109.69	102.25	103.21	108.15	86.35	86.86	101.42	109.20
Peso de recipiente (gr.)	47.70	38.50	46.37	53.31	39.82	38.28	40.98	48.94
Peso de agua (gr.)	8.38	8.60	8.73	8.47	7.88	8.32	11.44	11.46
Peso de suelo seco (gr.)	61.99	63.75	56.84	54.84	46.53	48.58	60.44	60.26
Humedad (%)	13.52	13.49	15.36	15.44	16.94	17.13	18.93	19.02
Promedio Humedad (%)	13.50		15.40		17.03		18.97	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.674		1.773		1.774		1.728	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACION:	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "C".
OBSERVACIONES:	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.
RESULTADOS:	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.781 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 16.2 %. Según el valor de la humedad óptima obtenida, se recomienda determinar el contenido de materia orgánica de la muestra.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

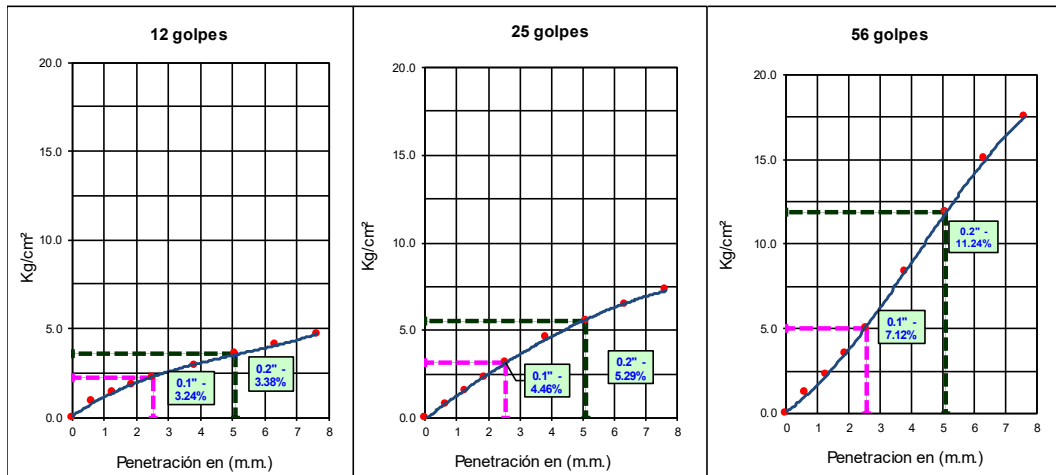
Datos de campo:				Datos de proctor /clasificación de suelos			
Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio al 2%		M. D. S.	:	1.781	gr/cm3
Muestra	:	M-1		O. C. H.	:	16.20	%
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)		Clas. SUCS	:	CL	
Profundidad	:	Acopio de zona de exploración		Clas. AASHTO	:	A-6 (10)	
Molde	Nº	8		21		27	
Capas	Nº	5		5		5	
Golpes por capa	Nº	12		25		56	
Condición de muestra				Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12509	12885	12713	13029	12950	13205
Peso del molde	Gr.	8596	8596	8636	8636	8629	8629
Volúmen del suelo	c.c.	2136	2136	2134	2134	2134	2134
Peso del suelo húmedo	Gr.	3913	4289	4077	4393	4321	4576
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.832	2.008	1.910	2.058	2.024	2.144
HUMEDAD							
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	108.01	116.77	110.59	111.34	93.61	113.38
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	100.95	101.01	101.96	97.21	88.40	99.74
Peso de la Recipiente	Gr.	48.51	44.59	37.81	40.31	49.85	39.37
Peso del agua	Gr.	7.06	15.76	8.63	14.13	5.21	13.64
Peso del suelo seco	Gr.	52.44	56.42	64.15	56.90	38.55	60.37
Humedad	%	13.46	27.93	13.45	24.83	13.51	22.59
Densidad seca	Gr/c.c.	1.614	1.569	1.684	1.649	1.783	1.749
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
26 de Mayo de 2024		0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
27 de Mayo de 2024		1	0.141	3.09	0.152	3.33	0.118
28 de Mayo de 2024		2	0.147	0.13	0.160	0.18	0.138
29 de Mayo de 2024		3	0.149	0.04	0.162	0.04	0.140
30 de Mayo de 2024		4	0.152	0.07	0.164	0.04	0.143
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	17.2	0.88	15.3	0.78	23.5	1.20
0.050	1.27	28.4	1.45	30.1	1.53	44.6	2.27
0.075	1.90	36.4	1.85	45.8	2.33	69.9	3.56
0.100	2.54	44.8	2.28	61.6	3.14	98.3	5.01
0.150	3.81	57.4	2.92	90.6	4.61	164.1	8.36
0.200	5.08	70.0	3.56	109.5	5.58	232.8	11.85
0.250	6.35	80.6	4.10	126.5	6.44	295.2	15.03
0.300	7.62	91.7	4.67	143.2	7.29	343.6	17.49
ANILLO		CAPACIDAD		SOBRECARGA		K = 19.64 cm2	

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

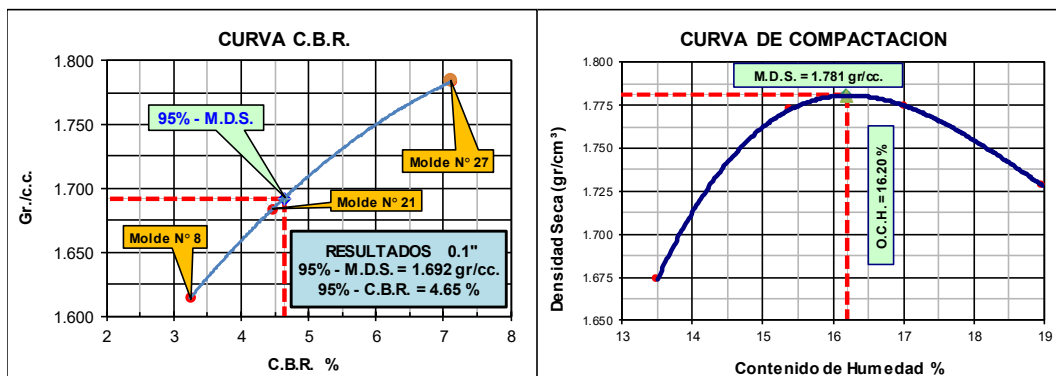
**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

Datos de campo:		Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 2%	Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Muestra :	M-1	Sobrecarga	10.00 lbs.	
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Hinchamiento promedio	3.35%	
Profundidad :	Acopio de zona de exploracion	C.B.R.	100% MDS	95% MDS
Datos de Proctor :	M.D.S. = ##### O.C.H. = 16.20 %	0.1"	7.12	4.65

GRAFICOS DE ENSAYO DE C.B.R.



GRAFICOS DE INTERPRETACION DE ENSAYO DE C.B.R. / GRAFICO DE CURVA DE COMPACTACION - PROCTOR



OBSERVACIONES: : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los tesisistas.

Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

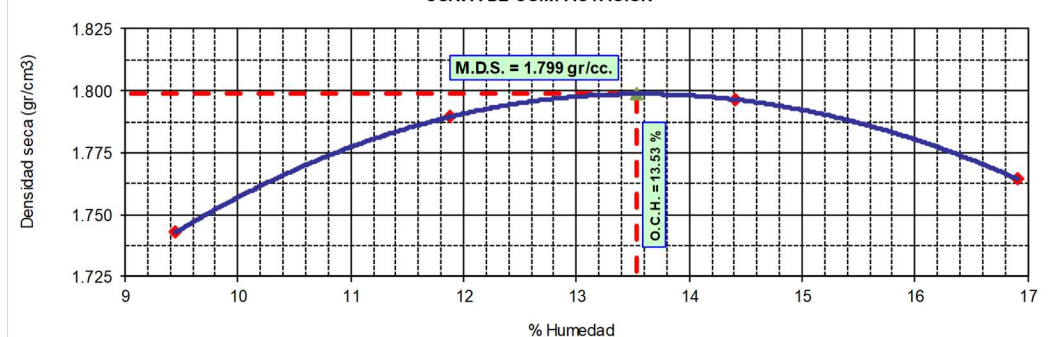
METODO "A" (ASTM D1557)

Datos de campo:		Resultados	
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 5%	M. D. S.	1.799 gr/cm ³
Muestra :	M-1	O. C. H.	13.53 %
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Clas. SUCS	CL
Profundidad :	Acopio de zona de exploracion	Clas. AASHTO	A-6 (10)
Fecha de ensayo :	25/05/2024		

1.- Compactación				
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5952	6041	6091	6098
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1793	1882	1932	1939
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.907	2.002	2.055	2.063

2.- Humedad (%)								
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	115.91	102.45	118.89	96.68	112.01	111.24	115.37	119.55
Recipiente + suelo seco (gr.)	110.42	96.98	110.45	90.53	104.59	103.30	105.79	109.65
Peso de recipiente (gr.)	52.36	39.03	39.80	38.48	53.05	48.23	49.16	51.07
Peso de agua (gr.)	5.49	5.47	8.44	6.15	7.42	7.94	9.58	9.90
Peso de suelo seco (gr.)	58.06	57.95	70.65	52.05	51.54	55.07	56.63	58.58
Humedad (%)	9.46	9.44	11.95	11.82	14.40	14.42	16.92	16.90
Promedio Humedad (%)	9.45		11.88		14.41		16.91	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.743		1.790		1.796		1.764	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACIONE	:	El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "C".
OBSERVACIONES	:	La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.
RESULTADOS	:	Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.799 gr/cm ³ , para un Óptimo contenido de Humedad de 13.53 %. Según el valor de la humedad óptima obtenida, se recomienda determinar el contenido de materia orgánica de la muestra.

Institucion: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAPTISTA. PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.		
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.	

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

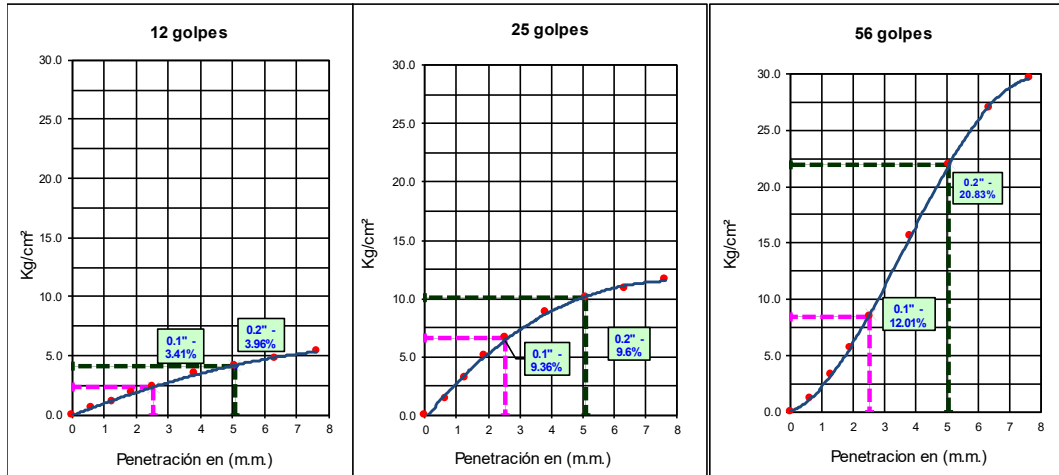
Datos de campo:				Datos de proctor /clasificación de suelos				
Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio al 5%		M. D. S.		1.799	gr/cm3	
Muestra	:	M-1		O. C. H.		13.53	%	
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)		Clas. SUCS		CL		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion		Clas. AASHTO		A-6 (10)		
Molde	Nº	10	11	12				
Capas	Nº	5	5	5				
Golpes por capa	Nº	12	25	56				
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	
Peso de suelo húmedo + molde		Gr.	12617	12943	12609	12871	12971	
Peso del molde		Gr.	8720	8720	8492	8492	8501	
Volúmen del suelo		c.c.	2137	2137	2112	2112	2139	
Peso del suelo húmedo		Gr.	3897	4223	4117	4379	4470	
Densidad húmeda		Gr/c.c.	1.823	1.976	1.949	2.073	2.090	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente		Nº	4	5	6	7	8	
Peso del suelo húmedo + Recip.		Gr.	111.52	144.74	106.99	136.52	103.45	
Peso del suelo seco + Recip.		Gr.	102.59	126.90	99.16	122.10	94.88	
Peso de la Recipiente		Gr.	46.86	51.08	50.44	47.78	41.29	
Peso del agua		Gr.	8.93	17.84	7.83	14.42	8.57	
Peso del suelo seco		Gr.	55.73	75.82	48.72	74.32	53.59	
Humedad		%	16.02	23.53	16.07	19.40	15.99	
Densidad seca		Gr/c.c.	1.572	1.600	1.679	1.736	1.802	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	
26 de Mayo de 2024		0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	
27 de Mayo de 2024		1	0.061	1.34	0.071	1.56	0.113	
28 de Mayo de 2024		2	0.070	0.20	0.073	0.04	0.114	
29 de Mayo de 2024		3	0.074	0.09	0.076	0.07	0.115	
30 de Mayo de 2024		4	0.074	0.00	0.076	0.00	0.115	
PENETRACION								
Penetración	Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
			Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025		0.63	10.8	0.55	27.7	1.41	22.1	
0.050		1.27	22.2	1.13	62.5	3.18	64.7	
0.075		1.90	35.5	1.81	101.5	5.17	110.0	
0.100		2.54	47.1	2.40	129.3	6.58	165.8	
0.150		3.81	67.5	3.44	172.9	8.80	305.5	
0.200		5.08	82.1	4.18	198.8	10.12	431.4	
0.250		6.35	94.4	4.81	214.4	10.92	530.5	
0.300		7.62	105.7	5.38	228.1	11.61	580.7	
ANILLO		CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

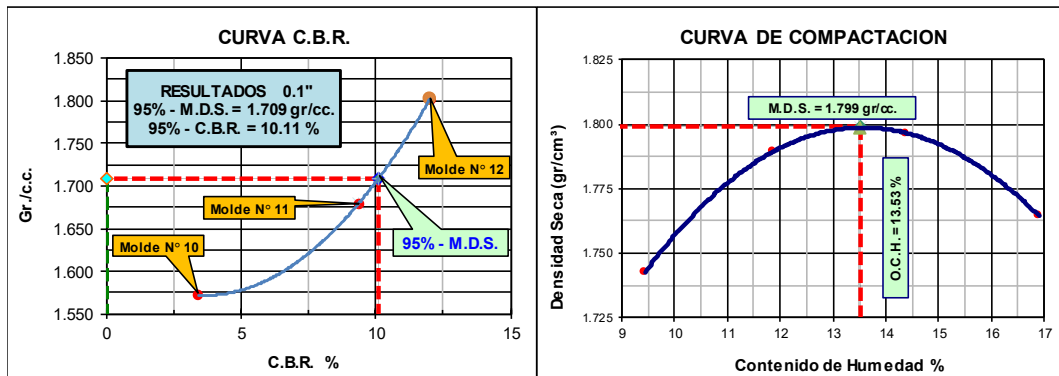
**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

Datos de campo:		Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883	
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 5%	Condición de la Muestra	4 días de saturación
Muestra :	M-1	Sobrecarga	10.00 lbs.
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Hinchamiento promedio	1.94%
Profundidad :	Acopio de zona de exploracion	C.B.R.	100% MDS 95% MDS
Datos de Proctor :	M.D.S. = ##### O.C.H. = 13.53 %	0.1"	12.01 10.11

GRAFICOS DE ENSAYO DE C.B.R.



GRAFICOS DE INTERPRETACION DE ENSAYO DE C.B.R. / GRAFICO DE CURVA DE COMPACTACION - PROCTOR



OBSERVACIONES: : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

Datos de campo:		Resultados	
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 7.5%	M. D. S.	1.892 gr/cm ³
Muestra :	M-1	O. C. H.	13.32 %
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Clas. SUCS	CL
Profundidad :	Acopio de zona de exploración	Clas. AASHTO	A-6 (10)
Fecha de ensayo :	25/05/2024		

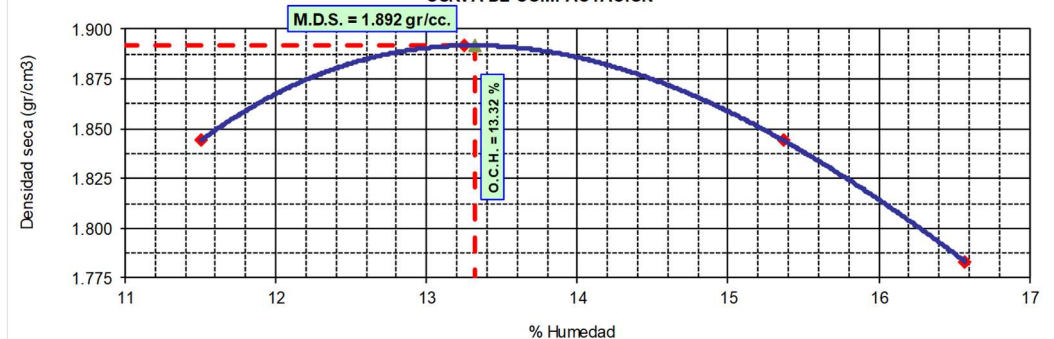
1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	6092	6173	6159	6113
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1933	2014	2000	1954
Densidad humeda (gr/cm ³)	2.056	2.143	2.128	2.079

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	117.62	129.66	110.85	103.30	110.75	109.69	122.59	118.05
Recipiente + suelo seco (gr.)	109.55	121.34	102.62	95.78	102.79	101.96	112.20	108.31
Peso de recipiente (gr.)	39.86	48.54	39.67	39.79	51.06	51.57	49.70	49.36
Peso de agua (gr.)	8.07	8.32	8.23	7.52	7.96	7.73	10.39	9.74
Peso de suelo seco (gr.)	69.69	72.80	62.95	55.99	51.73	50.39	62.50	58.95
Humedad (%)	11.58	11.43	13.07	13.43	15.39	15.34	16.62	16.52
Promedio Humedad (%)	11.50		13.25		15.36		16.57	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.844		1.892		1.844		1.783	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACIONE : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "C".

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los tesisistas.

RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.892 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 13.32 %.
Según el valor de la humedad óptima obtenida, se recomienda determinar el contenido de materia orgánica de la muestra.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

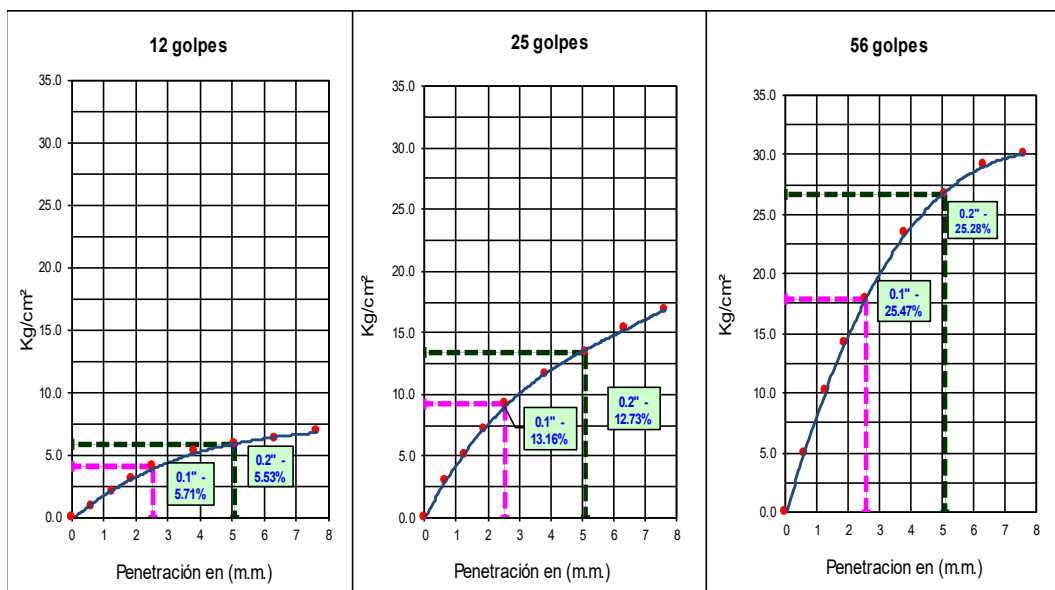
Datos de campo:				Datos de proctor /clasificación de suelos				
Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio al 7.5%		M. D. S.	:	1.892	gr/cm3	
Muestra	:	M-1		O. C. H.	:	13.32	%	
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)		Clas. SUCS	:	CL		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion		Clas. AASHTO	:	A-6 (10)		
Molde	Nº	1	2	3				
Capas	Nº	5	5	5				
Golpes por capa	Nº	12	25	56				
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12449	12757	12800	12947	13127	13183	
Peso del molde	Gr.	8535	8535	8497	8497	8610	8610	
Volúmen del suelo	c.c.	2140	2140	2134	2134	2127	2127	
Peso del suelo húmedo	Gr.	3914	4222	4303	4450	4517	4573	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.829	1.973	2.017	2.086	2.124	2.150	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	130.69	127.29	124.69	129.80	134.51	149.97	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	120.76	115.17	115.63	118.41	124.93	136.81	
Peso de la Recipiente	Gr.	44.35	48.76	47.12	49.30	53.11	48.34	
Peso del agua	Gr.	9.93	12.12	9.06	11.39	9.58	13.16	
Peso del suelo seco	Gr.	76.41	66.41	68.51	69.11	71.82	88.47	
Humedad	%	13.00	18.25	13.22	16.48	13.34	14.88	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.619	1.668	1.781	1.791	1.874	1.872	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
26 de Mayo de 2024		0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
27 de Mayo de 2024		1	0.136	2.98	0.028	0.61	0.014	0.31
28 de Mayo de 2024		2	0.137	0.02	0.029	0.02	0.016	0.04
29 de Mayo de 2024		3	0.137	0.00	0.029	0.00	0.016	0.00
30 de Mayo de 2024		4	0.137	0.00	0.029	0.00	0.016	0.00
PENETRACION								
Penetración	Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
			Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025		0.63	15.9	0.81	58.2	2.96	98.2	5.00
0.050		1.27	39.5	2.01	99.1	5.05	199.1	10.14
0.075		1.90	60.9	3.10	139.8	7.12	277.8	14.14
0.100		2.54	78.9	4.02	181.7	9.25	351.7	17.91
0.150		3.81	102.3	5.21	229.4	11.68	459.4	23.39
0.200		5.08	114.5	5.83	263.6	13.42	523.6	26.66
0.250		6.35	124.0	6.31	301.1	15.33	571.1	29.08
0.300		7.62	134.1	6.83	331.4	16.87	591.4	30.11
ANILLO		CAPACIDAD		SOBRECARGA		K =		19.64 cm2

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

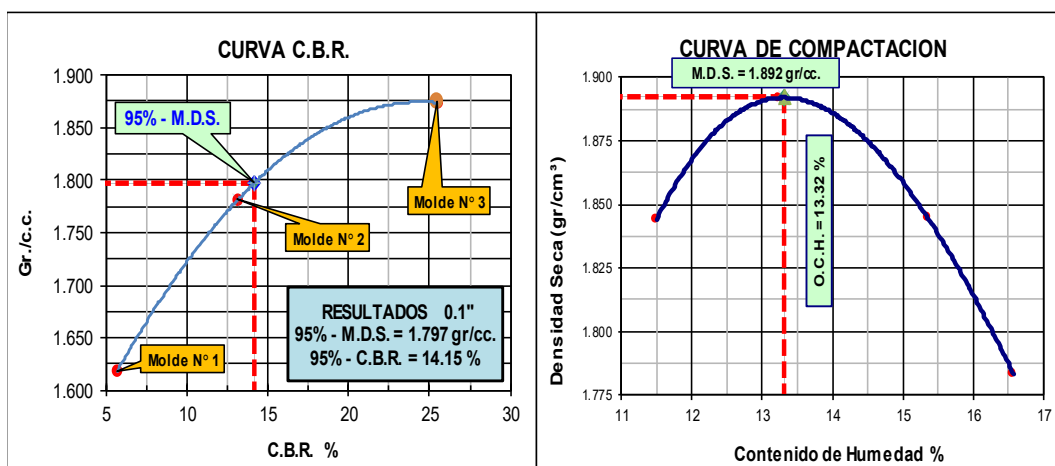
**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

Datos de campo:		Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Nombre de Cantera	: Polvo de vidrio al 7.5%	Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Muestra	: M-1	Sobrecarga	10.00 lbs.	
Ubicación	: Ciudad de Iquitos (reciclado)	Hinchamiento promedio	1.33%	
Profundidad	: Acopio de zona de exploracion	C.B.R.	100% MDS	95% MDS
Datos de Proctor	: M.D.S. = ##### O.C.H. = 13.32 %	0.1"	25.47	14.15

GRAFICOS DE ENSAYO DE C.B.R.



GRAFICOS DE INTERPRETACION DE ENSAYO DE C.B.R. / GRAFICO DE CURVA DE COMPACTACION - PROCTOR



OBSERVACIONES: : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP

Realizado por:
 Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior.
 Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César.
Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

METODO "A" (ASTM D1557)

Datos de campo:		Resultados	
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 10%	M. D. S.	1.983 gr/cm ³
Muestra :	M-1	O. C. H.	10.93 %
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Clas. SUCS	CL
Profundidad :	Acopio de zona de exploración	Clas. AASHTO	A-6 (10)

Fecha de ensayo : 25/05/2024

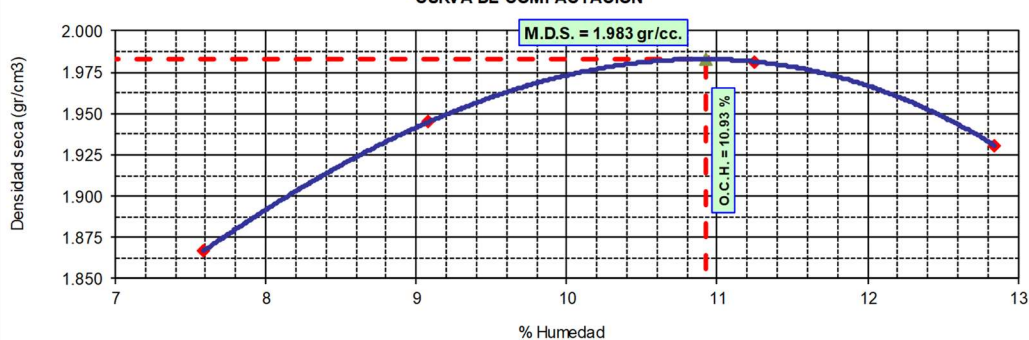
1.- Compactación

Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	6047	6153	6231	6207
Peso molde (gr.)	4159	4159	4159	4159
Volumen del molde (cm ³)	940	940	940	940
Peso suelo compactado (gr.)	1888	1994	2072	2048
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.009	2.121	2.204	2.179

2.- Humedad (%)

N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	143.24	136.13	119.48	127.60	117.82	114.74	112.36	119.43
Recipiente + suelo seco (gr.)	136.63	130.25	113.41	121.14	110.81	107.27	103.73	111.36
Peso de recipiente (gr.)	49.16	53.08	47.17	49.30	48.76	40.54	36.75	48.33
Peso de agua (gr.)	6.61	5.88	6.07	6.46	7.01	7.47	8.63	8.07
Peso de suelo seco (gr.)	87.47	77.17	66.24	71.84	62.05	66.73	66.98	63.03
Humedad (%)	7.56	7.62	9.16	8.99	11.30	11.19	12.88	12.80
Promedio Humedad (%)	7.59		9.08		11.25		12.84	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.867		1.945		1.981		1.931	

CURVA DE COMPACTACION



ESPECIFICACIONE : El Proctor Modificado se realizó según las Normas Técnicas ASTM D1557, por el método "C".
OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.
RESULTADOS : Conforme al ensayo realizado, el material de muestreo alcanzó una Máxima Densidad Seca 1.983 gr/cm³, para un Óptimo contenido de Humedad de 10.93 %. Según el valor de la humedad óptima obtenida, se recomienda determinar el contenido de materia orgánica de la muestra.

Institución: 	Investigación: EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE 10 DE AGOSTO, DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2023.	
	Realizado en: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES - UCP	Realizado por: Br. LÓPEZ PINEDO, Leandro Junior. Br. MONTALVÁN PEÑA, Bruno César. Asesor: Ing. RÍOS VARGAS, Caleb. M. Sc.

ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)

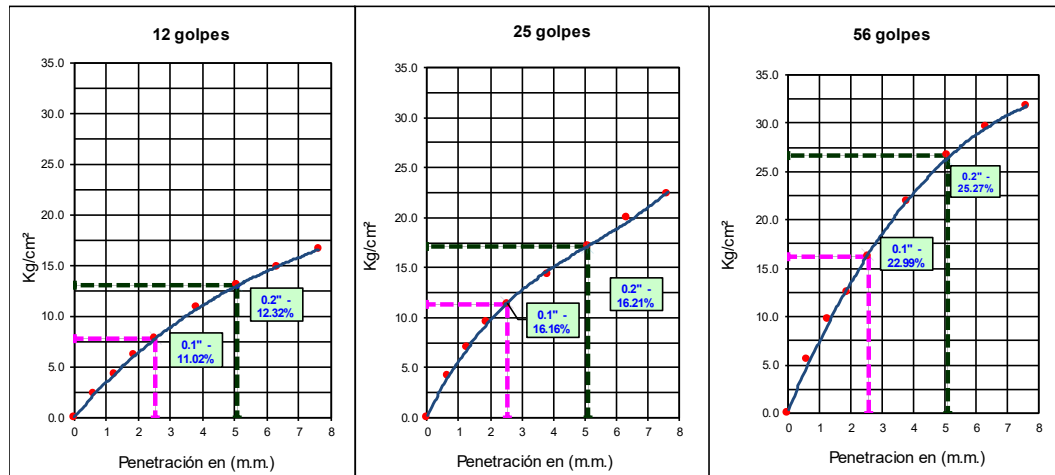
Datos de campo:				Datos de proctor /clasificación de suelos				
Nombre de Cantera	:	Polvo de vidrio al 10%		M. D. S.	:	1.983	gr/cm3	
Muestra	:	M-1		O. C. H.	:	10.93	%	
Ubicación	:	Ciudad de Iquitos (reciclado)		Clas. SUCS	:	CL		
Profundidad	:	Acopio de zona de exploracion		Clas. AASHTO	:	A-6 (10)		
Molde	Nº	4	5	6				
Capas	Nº	5	5	5				
Golpes por capa	Nº	12	25	56				
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12652	12861	12943	13079	13148	13406	
Peso del molde	Gr.	8492	8492	8501	8501	8595	8595	
Volúmen del suelo	c.c.	2129	2129	2127	2127	2127	2127	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4160	4369	4442	4578	4553	4811	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.954	2.052	2.088	2.152	2.141	2.262	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	93.36	158.76	100.40	120.26	121.44	142.71	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	87.82	144.28	94.46	111.53	113.49	131.59	
Peso de la Recipiente	Gr.	36.10	47.25	39.95	39.31	40.46	34.82	
Peso del agua	Gr.	5.54	14.48	5.94	8.73	7.95	11.12	
Peso del suelo seco	Gr.	51.72	97.03	54.51	72.22	73.03	96.77	
Humedad	%	10.71	14.92	10.90	12.09	10.89	11.49	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.765	1.786	1.883	1.920	1.930	2.029	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
26 de Mayo de 2024		0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
27 de Mayo de 2024		1	0.060	1.31	0.040	0.88	0.022	0.48
28 de Mayo de 2024		2	0.060	0.00	0.040	0.00	0.022	0.00
29 de Mayo de 2024		3	0.060	0.00	0.040	0.00	0.022	0.00
30 de Mayo de 2024		4	0.060	0.00	0.040	0.00	0.022	0.00
PENETRACION								
Penetración Pulgadas		Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
			Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025		0.63	45.4	2.31	82.3	4.19	109.3	5.57
0.050		1.27	81.9	4.17	136.8	6.97	191.3	9.74
0.075		1.90	119.5	6.08	188.3	9.59	246.4	12.55
0.100		2.54	152.2	7.75	223.2	11.36	317.5	16.17
0.150		3.81	211.6	10.77	279.7	14.24	428.7	21.83
0.200		5.08	255.1	12.99	335.8	17.10	523.4	26.65
0.250		6.35	291.2	14.83	392.4	19.98	581.9	29.63
0.300		7.62	325.7	16.58	439.8	22.39	622.7	31.71
ANILLO		CAPACIDAD		SOBRECARGA		K =		19.64 cm2

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

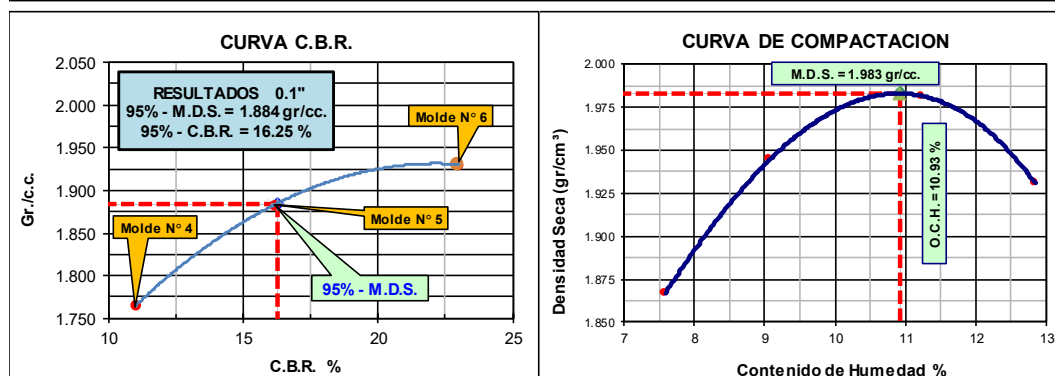
**DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ENSAYO DE PENETRACION C.B.R.
(ASTM D-1883)**

Datos de campo:		Razón de Soporte California CBR ASTM D 1883		
Nombre de Cantera :	Polvo de vidrio al 10%	Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Muestra :	M-1	Sobrecarga	10.00 lbs.	
Ubicación :	Ciudad de Iquitos (reciclado)	Hinchamiento promedio	0.89%	
Profundidad :	Acopio de zona de exploración	C.B.R.	100% MDS	95% MDS
Datos de Proctor :	M.D.S. = ##### O.C.H. = 10.93 %	0.1"	22.99	16.25

GRAFICOS DE ENSAYO DE C.B.R.



GRAFICOS DE INTERPRETACION DE ENSAYO DE C.B.R. / GRAFICO DE CURVA DE COMPACTACION - PROCTOR



OBSERVACIONES: : La muestra corresponde a suelo alterado, fueron muestreadas por los testistas.

ANEXO 02: PANEL FOTOGRÁFICO



COLOCACIÓN DE BM



SOBREVUELO DE LA CALLE 10 DE AGOSTO



SOBREVUELO DE LA CALLE 10 DE AGOSTO



SOBREVUELO DE LA CALLE 10 DE AGOSTO



LABORATORIO DEL MTC



LABORATORIO DEL MTC



BALANZA



ESFERAS DE ACERO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES



MAQUINA DE LOS ANGELES



BOTELLAS DE VIDRIO RECICLADAS



COLOCACIÓN DE LAS BOTELLAS DE VIDRIO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES



BOTELLAS DE VIDRIO DESPUES DEL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES



TAMIZADO DE LAS BOTELLAS QUE PASARON POR LA MAQUINA
DE LOS ANGELES



TAMIZADO DE MUESTRA



TAMIZADORA



VIDRIO MOLIDO



AA.HH VILLA JERUSALEN



MATERIAL ARCILLOSO USADO COMO MUESTRA DE CL



MATERIAL ARCILLOSO USADO COMO MUESTRA DE CL



BALANZA



CLASIFICACIÓN DEL PH DEL SUELO



CLASIFICACIÓN DEL PH DEL SUELO + POLVO DE VIDRIO