

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INFLUENCIA DE AGREGADO RECICLADO DE
CONSTRUCCIÓN PARA ESTABILIZACIÓN DE
SUELOS ARCILLOSOS EN EL DISTRITO DE
SITABAMBA, SANTIAGO DE CHUCO, 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Civil

Autor:

Dailly Sidney Guevara Ñuñuvera

Asesor:

Mg. Ing. Germán Sagastegui Vásquez

<https://orcid.org/0000-0003-3182-3352>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Sonia Rubio Herrera	42984416
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Nixon Peche Melo	70615775
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Sheyla Yuliana Cornejo Rodríguez	41639360
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme salud y permitirme culminar con éxito este trabajo. A mi madre, quien día a día se esforzó y lo sigue haciendo por verme realizada, por ser el pilar más importante en el cumplimiento de cada meta, por ser siempre mi apoyo incondicional, por confiar en mí y nunca dejarme caer. A mi bebé, Gressia, por ser mi mayor motivación para superarme y ser un ejemplo para ella, esto es por y para ti mi niña. A mi papá, por su apoyo y su paciencia. A mis docentes, por inculcarnos siempre buenos valores y las enseñanzas adquiridas en esta etapa universitaria.

Guevara, D.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida. A mi madre por alentarme a ser mejor cada día y lograr mis metas, gracias por siempre ayudarme a levantarme, te amo mamá. A mi papá, por sus palabras de aliento y sus consejos. A mi familia por siempre apoyarme de la mejor manera posible. A mi asesor, Ing. Germán Sagastegui Vásquez, por sus sabios aportes, por su disponibilidad inmediata, su apoyo y empuje constante, todo ello fue de vital importancia para la realización de la presente investigación. Y a mis amigos y compañeros por compartir gratos momentos juntos en nuestra alma máter.

Guevara, D.

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Antecedentes	15
1.3. Bases Teóricas	25
1.3.1. Residuos de construcción	25
1.3.2. Residuos de construcción y demolición en el Perú	29
1.3.3. Suelo	32
1.3.4. Suelo Arcilloso	44
1.3.5. Estabilización de suelos	49
1.4. Formulación del problema	58
1.5. Objetivos	58
1.5.1. Objetivo general	58
1.5.2. Objetivos específicos	58
1.6. Hipótesis	58
1.6.1. Hipótesis general	59
1.6.2. Hipótesis específicas	59

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	60
2.1. Tipo de investigación	60
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	61
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	61
2.4. Procedimiento	62
2.5. Ensayos	63
2.5.1. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (ASTM D422) (MTC E107)	63
2.5.2. Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D2216) (MTC E108)	65
2.5.3. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110) (MTC E111)	68
2.5.4. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)	71
2.5.5. CBR de suelos (ASTM D1883) (MTC E132)	74
CAPÍTULO III: RESULTADOS	80
3.1. Caracterización de propiedades mecánicas del suelo natural	80
3.1.1. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (ASTM D422) (MTC E107)	80
3.1.2. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)	81
3.1.3. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)	81
3.1.4. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)	82
3.2. Caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante	82
3.2.1. Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)	82
3.2.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)	83

3.2.3.	CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)	83
3.3.	Determinar el porcentaje adecuado de agregado reciclado de construcción para la estabilización del suelo.	84
3.3.1.	Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)	84
3.3.2.	Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)	85
3.3.3.	CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)	86
3.4.	Comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizantes	87
3.4.1.	Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)	87
3.4.2.	Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)	88
3.4.3.	CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)	89
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		90
4.1.	Discusión	90
4.1.1.	Determinar las características mecánicas del suelo natural	90
4.1.2.	Caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante	91
4.1.3.	Determinar el porcentaje adecuado de agregado reciclado de construcción para la estabilización del suelo.	93
4.1.4.	Comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizantes	94
4.2.	Conclusiones	99
REFERENCIAS		102
ANEXOS		108
Anexo N° 1: Matriz de Consistencia		108
Anexo N° 2: Tablas		110
Anexo N° 3: Resultados de análisis de suelo calicata 1		111

Anexo N° 4: Resultados de análisis de suelo calicata 2	115
Anexo N° 5: Resultados de análisis de suelo calicata 3	119
Anexo N° 6: Resultados diseño de mezcla 2.5%	123
Anexo N° 7: Resultados diseño de mezcla 5%	126
Anexo N° 8: Resultados de diseño de mezcla 7.5%	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de RCD.....	28
Tabla 2. Residuos de Construcción y Demolición Peligrosos.....	30
Tabla 3. Tamaño de partículas del suelo	34
Tabla 4. Clasificación de Suelos – AASHTO	38
Tabla 5. Sistema Unificado de Clasificación de suelos.....	41
Tabla 6. Resultados promedio de ensayo de granulometría	80
Tabla 7. Ensayo de Límites de Atterberg	81
Tabla 8. Resultados de Ensayos de Proctor Modificado	81
Tabla 9. Ensayo CBR ASTM D1883	82
Tabla 10. Resultado de Límites de Atterberg de material con adición de estabilizante.....	82
Tabla 11. Resultado de Proctor Modificado de material con adición de estabilizante.....	83
Tabla 12. Resultado de CBR de material con adición de estabilizante	83
Tabla 13. <i>Índice de plasticidad de la Arcilla Norma ASTM D4318 – 84</i>	110
Tabla 14. <i>Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM D422</i>	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de Una Planta de Tratamiento RCD.....	26
Figura 2. Carta de Plasticidad.....	44
Figura 3. Unidad Tetraédrica.....	46
Figura 4. Unidad Octaédrica.....	47
Figura 5. Estructura de la caolinita.....	47
Figura 6. Estructura de la illita	48
Figura 7. Estructura de la illita	49
Figura 8. Proceso para la Identificación del Tipo del suelo	51
Figura 9. <i>Procedimiento de investigación</i>	63
Figura 10. <i>Registro de pesos retenidos en cada tamiz</i>	64
Figura 11. Colocación de muestra húmeda en el envase.....	66
Figura 12. Colocación de muestras al horno	67
Figura 13. Copa de casagrande.....	71
Figura 14. Compactación de la muestra - Proctor Modificado	74
Figura 15. Prensa para ensayo de compresión.....	78
Figura 16. Límites de Atterberg según porcentajes de adición	84
Figura 17. Proctor Modificado según porcentajes de adición	85
Figura 18. Valor Relativo de Soporte (CBR) según porcentajes de adición	86
Figura 19. Límites de Atterberg de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición	87
Figura 20. Proctor Modificado de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición	88

Figura 21. Valor relativo de soporte (CBR) de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición.....	89
Figura 22. Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-01	132
Figura 23. Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-02	132
Figura 24. Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-03	133
Figura 25. Relación de tamices para ensayo granulométrico	133
Figura 26. Registro de pesos retenidos en los tamices	134
Figura 27. Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C01	134
Figura 28. Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C02	135
Figura 29. Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C03	135
Figura 30. Elaboración de ensayo de límite líquido	135
Figura 31. Elaboración de ensayo de límite plástico.....	136
Figura 32. Elaboración de ensayo proctor modificado – C01	136
Figura 33. Elaboración de ensayo proctor modificado – C02.....	137
Figura 34. Elaboración de ensayo proctor modificado – C03	137
Figura 35. Registro de peso de los moldes más la muestra estabilizada compactada	138
Figura 36. Compactación de muestra para Ensayo CBR – C01.....	138
Figura 37. Compactación de muestra para Ensayo CBR – C02.....	139
Figura 38. Compactación de muestra para Ensayo CBR – C03.....	139
Figura 39. Colocación de muestra CBR en la prensa.....	140
Figura 40. Probeta de ensayo CBR.....	140

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar la influencia de agregados reciclados de demolición de construcciones existentes, en este caso, concreto y ladrillo, para la estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, 2022. Esta investigación según su propósito es aplicada, el diseño de esta investigación es experimental de tipo pre experimental. La población fue el suelo arcilloso de la vía Panubamba – San Sebastián. La muestra fue determinada por la técnica no probabilística, por conveniencia. De los resultados, se logró demostrar que los agregados reciclados de construcción mejoran la estabilización de suelos de la vía Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, reduciendo en 35.74% el índice de plasticidad de 10.94% a 7.03%. Respecto a la máxima densidad seca, esta se incrementó de 1.87 gr/cm³ a 1.98 gr/cm³, la humedad óptima se incrementó de 8.38% a 9.11%. Con respecto a la capacidad portante soporte CBR se incrementó de 35% a 43%, ubicándola con este valor en el rango adecuado para conformar la capa de subbase, según MTC siendo el valor mínimo aceptable el de 40%. Se concluyó que, las características geotécnicas del suelo encontradas en la vía Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco tienen un índice de plasticidad de 10.94, una máxima densidad seca de 1.87 gr/cm³, una humedad óptima de 8.36% y con un valor de capacidad portante soporte CBR de 35%, presentando una clasificación SUCS SC y AASHTO: A-2-6(0), las mismas que requieren de mejora, lo cual se logra con un suelo natural con adición del 5% de agregados reciclados de construcción demolida.

PALABRAS CLAVES: residuos de construcción, estabilización, suelos arcillosos

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Uno de los desafíos de la ingeniería civil es la innovación para llevar la construcción a quienes no pueden encontrar alternativas que hagan accesible la construcción a sectores que no pueden financiarlas. La necesidad de mejoramiento de caminos es inmensa y la falta de recursos es alta. Por otro lado, uno de los principales problemas de todos los gobiernos provinciales, en particular de la costa, son los residuos de demolición, esto se ha exacerbado por el boom de la construcción, por el crecimiento vertical de las principales ciudades del mundo (Okeke et al., 2020).

El crecimiento mundial, en particular en los países en desarrollo África, Sud este asiático, Centro y Sud América, el incremento de las áreas de explotación, han hecho que más del 50% de los caminos rurales estén en pésimas condiciones afectando su economía pues dificulta el transporte de personas, bienes y es causante de muchas muertes en accidentes (Barwell et al., 2019).

Un aspecto que afecta los caminos son los tipos de suelos, en los países en desarrollo de Asia, África y Latinoamérica, son afectados por ser suelos arcillosos, y las lluvias intensas, requiriendo materiales estabilizantes que son caros a lo que se suma la limitación mundial de arena. Por otro lado, la baja productividad de los centros poblados, su baja productividad agrícola hace que no sea rentable la inversión en carreteras y su mantenimiento (Asher & Novosad, 2020).

Una de las características de los países en desarrollo es su revaloración y tugurización de sus ciudades, en constante demolición para el crecimiento vertical lo que ha traído como consecuencia una producción constante de desechos de construcción, que al igual que los residuos sólidos, los plásticos, grandes y medianas ciudades enfrentan esta problemática, por

otro lado, la valorización de los terrenos en las ciudades hace que sea difícil acumularlos y su transporte. Esta situación ha puesto en agenda que estos residuos ingresen a la economía circular (Bilal et al., 2020).

En la localidad de Foz do Iguazú, presentan suelos con baja capacidad de soporte, por lo que es necesaria una estabilización para el uso en pavimentación. Por otra parte, según datos de la municipalidad, solo en el año 2018 se registró una producción aproximada de 210 mil toneladas de residuos inertes, de los cuales aproximadamente el 80% son RCD. El aprovechamiento de estos residuos en la estabilización de los suelos residuales blandos, en la región de Foz de Iguazú, ya sea en conjunto (el RCD), o por componente individual, tal como, el residuo de concreto (RC), es una alternativa de solución sustentable que necesita de mayores investigaciones para una futura aplicación (Bizarreta et al., 2021).

De acuerdo con Cerreño (2016), el fundamental uso de los agregados reciclados en muchos países es, justamente, como bases y subbases de pavimentos. Un ejemplo a nivel internacional es Alemania, donde se generó cerca de setenta millones de toneladas por año de agregados reciclados, y más de cincuenta millones fueron dirigidos al mantenimiento y construcción de bases y subbases de pavimentos y vías urbanas, para llegar a esta estadística se vio la necesidad de desarrollar una legislación determinada, la Directriz RG Min-StB 93, que favoreció al crecimiento del rubro del reciclaje de los residuos de demolición. Otro ejemplo es Japón, donde la mayoría de los agregados reciclados se destinan para la construcción de bases y subbases.

Terrones (2018) señala que en el Perú hay muchos tipos de suelos arcillosos y arenosos que en su estado natural no son una buena opción para la construcción, es por eso que la norma peruana propone la mejora del suelo mediante variedad de técnicas, como lo es la estabilización de suelos, que se precisa como la optimización de las propiedades físicas

del suelo por medio de procesos mecánicos y la inserción de materiales químicos, naturales o sintéticos.

En la región, por ser extremadamente accidentada, existen muchos caminos rurales que requieren estabilización, existiendo una demanda de agregados para estabilizar, por otra parte, la producción de agregados tradicionales para estabilización tiene impacto en las canteras, y medio ambiente, así mismo presenta huella de carbono.

Cuando se llevan a cabo ejecuciones de carreteras surgen opciones de estabilización de suelos y muchas de ellas no se pueden regir a una norma específica, debido a que precisamente no están normadas en los manuales del MTC (Nesterenko, 2018). La gestión pública puede coordinar el mantenimiento de vías, con la demanda de agregados para estabilización y dar una demanda sostenida al reciclaje de residuos de construcción y demolición, pero se requiere de estudios sustentatorios. Es por ello, que esta investigación tiene como objetivo principal, determinar la influencia de agregados reciclados de construcción para la estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, con el propósito de mejorar sus características mecánicas y poder ser propuesto como agente estabilizante de una subrasante, reutilizando los residuos de construcción, pudiendo así impactar positivamente en el aspecto económico y ambiental.

1.2. Antecedentes

A nivel internacional destacó Acosta (2019) con su tesis “Caracterización básica de residuos de construcción y demolición (RCD’S) y su potencial utilización en una estructura de pavimento”, tuvo como objetivo general caracterizar los residuos de construcción y demolición (RCD’S) de la planta de GRECO SAS en Bogotá identificando su uso potencial en una estructura de pavimento. Teniendo en cuenta lo establecido en la norma INV – E – 201 se realizó el muestreo del material de prueba, el cual corresponde a un agregado pétreo

el cual es suministrado por el proveedor (Granulados reciclados de Colombia – Greco) como Sub-Base. Concluye que, se realizó la caracterización básica de los agregados producto del reciclado producidos en la planta GRECO SAS y se obtuvieron resultados los cuales fueron objeto de comparación con los requisitos establecidos para agregados en las normas tanto INVIAS como IDU. Realizando el análisis y su respectiva comparación con los requisitos de las normas, se puede establecer que el material producido en la planta de GRECO SAS cumple lo requerido para ser utilizado como subbase granular tanto en las Normas INVIAS como IDU, aunque el valor de equivalente de arena es igual a 20% lo que lo pone al límite de las normas puede usarse siempre a criterio del ingeniero especialista en pavimentos.

Esta tesis aporta evidencia empírica sobre los reciclados de construcción para la utilización en la estructura del pavimento, en particular en reemplazo del material particulado.

Becerra y Gómez (2019) en su tesis “Estudio del comportamiento en las arcillas típicas de Bogotá estabilizadas con residuos de construcción y demolición (RCD)”, los inconvenientes que muestra el suelo en cuanto a la estructura vial en la ciudad de Bogotá dejan en evidencia las propiedades de resistencia y durabilidad. En el presente desarrollo esta investigación se orienta a la de algún tipo de alternativas para una buena estabilización de Subrasante. Por tal motivo se plantea posibles soluciones de tipo ingenieril que ayuden a mitigar, mejorando las diferentes propiedades de los suelos arcillosos, mediante ensayos de laboratorio, aportando de esta manera a la implementación de productos innovadores como la estabilización de subrasantes, optimizando así las propiedades físico-mecánicas de estas arcillas; por tal razón se estaría aportando una solución a los problemas generados en las vías con este tipo de materiales. Esta investigación se enfoca en buscar un modo experimental para mejorar las características y propiedades físico-mecánicas de las arcillas encontradas

para mejorar las diferentes estructuras halladas en la ciudad de Bogotá; Todo lo anterior relacionado con la resistencia y capacidad de soporte, el material de subrasante seleccionado se estabilizará en las mismas condiciones como fue encontrada; el objetivo de la investigación fue centrarse en la optimización de las propiedades físico-mecánicas del material una vez estabilizado con residuos de construcción y demolición, determinando un análisis comparativo, a partir de la adición del 5%, 10% y 20% del material estabilizante, estableciendo cómo se comporta esta sub rasante a través del ensayo CBR.

Esta investigación a través de sus resultados y metodología genera un aporte sobre datos de porcentajes, mezclas, y propiedades de los residuos de demolición, los mismos que son importantes para el tratamiento y preparación de estos.

Cantor y Mateus (2017) en su tesis “Modelos implementados en el manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición en Latinoamérica. (Estado del arte)”, tuvo como objetivo general recopilar información hallada referente a las modalidades practicadas en la manipulación, procedimiento, empleo y disposición final de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Latinoamérica. Se concluye que, en Latinoamérica debido al crecimiento poblacional y económico de los últimos años en países como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, etc., el desarrollo en la construcción ha obligado al sector público a crear normatividad específica y modelos de gestión para Residuos de Construcción y Demolición, con el fin de dar un manejo adecuado y así evitar problemáticas de orden ambiental. En países como Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Surinam, Uruguay y Venezuela existe normatividad respecto a los residuos sólidos en general, en donde los RCD son incluidos, pero no presentan normatividad referente directamente con el tema, lo cual afecta el control y manejo de los RCD. En Los países donde los costos de disposición son bajos y las

sanciones son leves las prácticas de reciclaje son escasas, lo contrario sucede donde las sanciones son más severas y las normas más estrictas. A nivel Global existe actualmente una tendencia en el sector de la construcción de buscar la sostenibilidad ambiental, considerando que los RCD pueden ser aprovechados como material en nuevos procesos constructivos, los modelos de gestión rigurosos y completos, puede traer múltiples beneficios al ambiente y el presupuesto de cada proyecto.

Este antecedente, es de especial importancia, pues aporta políticas públicas y alternativas para su economía circular o hacer sustentable la demolición, y aporta la justificación de su tratamiento, pues las normas ambientales, prescriben su gestión sustentable, es decir, devolverle el valor.

Chica y Beltrán (2018) en su artículo de revista científica “Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso”, los residuos de demolición y construcción (RCD), se han convertido en una problemática constante en el sector, debido a su volumen de producción y la falta de espacio para su disposición final. Para solucionar esta problemática se han propuesto diversas estrategias de gestión que consideran desde la disminución en la fuente hasta la reutilización como materia prima en la fabricación de diversos elementos. En este último aspecto, a nivel mundial, se han llevado a cabo esfuerzos por determinar el posible reúso de dichos residuos. Sin embargo, en muchos casos ese proceso parece ser inconsistente pues no se considera la naturaleza y propiedades del residuo como un condicional en la identificación de su posible reutilización. En este artículo, se presenta un ejemplo de aplicación de la identificación del potencial de reúso de residuos de demolición y construcción de la ciudad de Medellín, a partir de la determinación de las propiedades físicas, mineralógicas y energéticas, y del inventario específico de producción. Los resultados mostraron que, para el caso de estudio,

los residuos con mayor potencial de uso para la reincorporación en la cadena productiva fueron los residuos de excavación y de mampostería de bloque, con los cuales, además, se probó un modelo de reutilización consistente en una placa suelo-cemento conformada por 95% de RCD.

Esta investigación aporta la metodología para caracterizar los residuos de demolición algo necesario para estandarizar la conversión del residuo a un material con características definidas y poder ser utilizado a escala.

García (2014) en su informe “Gestión de residuos de construcción y demolición en Alemania”, tuvo como finalidad gestionar los residuos de construcción y demolición en Alemania. Los resultados de la actividad económica del reciclaje de RCYD evidencian la rentabilidad, aparte de tener el apoyo del gobierno alemán emitiendo normas de carácter obligatorio, frente a esto se destaca otro componente que ha colaborado en el crecimiento del comercio del reciclaje, el alza de los precios de los sitios de disposición final. Los resultados indican que el ciclo de reutilización de los materiales en proyectos nuevos se ha vuelto el más usado y el que otorga mayor beneficio sobre el reciclaje de residuos producto de la demolición ya que reduce significativamente el elevado gasto de energía en el proceso de transición del material para ser reciclado como para producir un nuevo producto. Es primordial mencionar que este proceso ayuda a la gestión de los residuos, no obstante, se debe integrar a un principio de consumo responsable de los materiales de la construcción, previniendo así la producción de los residuos y el uso desmedido de los recursos naturales.

Esta tesis aporta a la justificación del presente estudio, que es la revalorización del residuo, constituyendo una materia prima y es un ejemplo como otros países promueven su reciclaje, un modelo que amerita ser aplicado o investigado en nuestro país, donde los residuos de construcción son un problema importante.

Moreno (2018) en su tesis “Estabilización de suelos arcillosos con residuos de la construcción y demolición”, el principal objetivo de esta tesis es caracterizar química y mineralógicamente agregados reciclados a partir de concreto demolido para conocer si tienen las propiedades químicas necesarias para estabilizar suelos arcillosos, dicho en otras palabras, determinar si los agregados reciclados contienen la cantidad suficiente de hidróxido de calcio para producir la reacción puzolánica y contribuir al desarrollo de resistencia en un suelo expansivo. Se caracterizaron química y mineralógicamente, 4 muestras de agregados reciclados procedentes de residuos de la construcción y demolición de la Cd. de México, grava y arena de una planta recicladora y agregados reciclados en el laboratorio provenientes de concreto demolido recolectado en vertederos, así como una muestra de suelo feozem háplico de la Ciudad de Pachuca. Los resultados revelan que solo la grava reciclada en la planta posee los contenidos minerales y la alcalinidad necesaria para ser considerada como un agente estabilizador. Para probar el desempeño químico de este agregado reciclado se pulverizó a menos 75μ , y se adicionó en diferentes proporciones en peso a muestras del suelo arcilloso feozem háplico (mezclas suelo-agua-agregado reciclado pulverizado).

Este antecedente aporta las cualidades químicas que aportan los residuos de demolición en la estabilización química de las arcillas, de particular importancia en el control de la base arcillosa del pavimento.

Ochoa (2019) en su tesis “Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-concreto fino (partículas $< 2\text{mm}$) para aplicación en pavimentos”, en ese contexto, en el presente trabajo se propone una solución sustentable para la destinación de los residuos de concretos, a través de su reutilización en el mejoramiento de la subrasante de pavimentos. Para tal finalidad, estos materiales fueron

aprovechados para obtener un RCD-C Fino (Residuo de Construcción y Demolición de Concreto fino), con partículas menores a 2mm. Fueron realizados los ensayos de caracterización, compactación, expansión e índice de soporte de California (CBR), variando los porcentajes en peso de RCD-C Fino, en 0, 20, 40 y 60%, con relación a la masa total de la mezcla. Con el incremento del residuo reciclado de concreto, hubo una disminución en los siguientes parámetros: límites de Atterberg, masa específica, humedad óptima y expansión; y un incremento en los valores de masa específica aparente seca y CBR, con un porcentaje óptimo de 60% RCD-C fino. Los parámetros de expansión y CBR cumplieron con los requisitos normativos para refuerzo de la subrasante. Por lo que se puede concluir que el uso de RCD-C fino como estabilizador del limo-arcilloso de la región de Foz do Iguazú resulta promisorio y viable del punto de vista técnico, además de contribuir para la reducción de los impactos ambientales que conlleva a la aplicación en la pavimentación.

Este antecedente aporta resultados basados en pruebas geotécnicas de las mezclas de residuos de construcción en las propiedades estabilizantes de los suelos basándose en ensayos estándar.

Quintero (2017) en su tesis “Suelo-cemento con sustitución en franja granulométrica con concreto reciclado”, tuvo como objetivo general, el análisis del comportamiento mecánico de una mezcla de suelo cemento con el reemplazo de concreto reciclado en una franja granulométrica pasa tamiz #10 retiene tamiz #60 de un material tipo B-50 cumpliendo con las características del artículo 350-13 del Invías. Los resultados mostraron que las mezclas de suelo cemento con concreto reciclado para las sustituciones o reemplazos con el CR25%, CR50% y CR75% necesitaron más cantidad de cemento para poder tener una resistencia mínima que sea admisible para el artículo 350 -13 del Invías, en contraste con las mezclas nombradas anteriormente, la mezcla CR100% presentó un comportamiento

parecido al suelo natural, con lo que se determinó que en términos de cumplir la norma, el reemplazo de material granular con concreto reciclado cumple con las especificaciones del artículo 350-13 del Invías. Se concluye que, respecto al ensayo de resistencia a la compresión, se evidenció que el concreto reciclado no solo influye en la hidratación de la mezcla de suelo cemento sino también en la resistencia, el suelo natural resultó ser el que mostró mayores resistencias a la compresión simple, cada que se aumentaba el porcentaje de sustitución en la franja granulométrica los valores de resistencia disminuyeron, a partir de la sustitución con CR50% empezó a incrementar los valores de resistencia, pero no aumentaron respecto a las probetas de la muestra patrón de suelo natural, ninguna probeta logró alcanzar las resistencias del suelo natural.

Esta investigación aporta procesos empíricos, características y porcentajes de adición para el cumplimiento de la normativa de estabilización de suelos.

Vera y Villalobos (2014) en su tesis “Gestión de los residuos sólidos generados durante la construcción y demolición”, menciona que en distintos países del mundo se originan ejemplos del problema que representa los residuos que resultan de la construcción y demolición, un claro ejemplo de ello es; Cataluña en España, con una población de seis millones de habitantes durante el año 1998, generó más toneladas de residuos de la construcción y demolición, que de residuos domésticos. Generalmente en gran variedad de lugares, donde no expresamente se tiene el cuidado de gestionar de una manera eficaz estos residuos, se ha podido identificar que realmente trae consigo una seria problemática al medio. Para finalizar, se concluyó que, para que una vivienda sea sustentable se necesita el respeto de la utilización de recursos energéticos y materiales, en estos últimos se encuentran, el uso responsable, es decir, usar solamente lo justo y necesario, y en una segunda instancia la importante producción de los residuos en las distintas fases de construcción, las mismas

que deberían ser manejados de una forma óptima para así lograr reducir los materiales usados y la repercusión en ambiente.

Esta tesis aporta a la realidad problemática, y a las políticas, así como evidencia de usos para hacer sustentable las nuevas construcciones que implican la demolición y generación de residuos de construcción.

A nivel nacional destacaron Alburqueque y Flores (2021) con su tesis “Estabilización de la subrasante incorporando piedra over y material de demolición de estructuras de concreto, Calle Amazonas, C.P. Mallaritos, Sullana, 2021”, ha tenido como objetivo general, el Evaluar la estabilización de la subrasante, estabilizando piedra over y material de demolición de estructuras de concreto, calle Amazonas, C.P. Mallaritos, Sullana, 2021. El tipo de investigación ha sido el aplicado, con un diseño descriptivo, tomando como tamaño muestral, a 1 kilómetro de la calle Amazonas – C.P. Mallaritos – Sullana, recolectando datos por medio de la ficha de observación. Los resultados han señalado que, el valor de CBR, se ha visto reducido de un 1.713 gr/cm³, hacia un valor del 1.641 gr/cm³, al contar con un porcentaje de reemplazo del 35% del RCD, siguiendo el mismo comportamiento, en relación con el CBR, en donde se han alcanzado valores del 99.90% para la muestra patrón y de un 95.70% en la muestra realizada con el 35% de reemplazo del RCD. Mientras que, se ha encontrado correlación significativa e inversamente proporcional, entre el CBR y el Proctor, en relación con el porcentaje de reemplazo del RCD.

Este antecedente de particular importancia porque es una aplicación a un caso concreto para aprovechar en la estabilización de los suelos urbanos para su estabilización, ahorrando los costos de agregados y dando trámite a los residuos de construcción municipales que es uno de las razones que inspiran la presente investigación.

Sernaqué (2020) en su tesis “Elaboración de bloque de tierra comprimida (BTC) con adición de residuos de construcción y demolición (RCD) como material de construcción sostenible en la ciudad de Piura_2020”, el presente trabajo de investigación está basado en un diseño experimental con enfoque cuantitativo. Para el desarrollo se hizo estudios en el laboratorio de mecánica de suelos con el fin de desarrollar cada uno de los objetivos propuestos, teniendo como objetivo principal, elaborar un bloque de tierra comprimido (BTC) con adición de residuos de construcción y demolición (RCD), para ello se empleó suelo proveniente del distrito de Tambogrande. Se elaboró en 3 dosificaciones variando el contenido de arcilla y arena, realizando una estabilización suelo cemento, adicionando el 15% de este con respecto al peso de la mezcla; ya que según la Portland Cement Association para obtener una estabilización económica no debe ser superior al 15%. Se analizó 08 bloques por cada dosificación, 5 de ellos se utilizaron para realizar los ensayos de resistencia a la compresión y los demás para determinar la absorción, en bloques normales y bloque empleando residuos provenientes de construcción y demolición, que previamente fueron triturados hasta obtener partículas similares a las del agregado tradicional para su posterior reemplazo, con la finalidad de reducir costos y facilitando cerrar ciclos con respecto al ciclo de vida de una edificación, así mismo posibilitar la economía circular, además de obtener una unidad de albañilería que no requiera del proceso de cocción como el ladrillo tradicional. Después de haber realizado este estudio se concluyó que el suelo empleado según el SUCS se clasificó como suelo inorgánico ML (limos arcillosos con poca plasticidad) y según la AASHTO como un suelo tipo A-7-6(15) (suelo arcilloso) por lo que se incorporó arena para mejorar su granulometría y realizar la estabilización suelo- cemento de forma eficiente , siendo el bloque que obtuvo mejor comportamiento ante los esfuerzos de compresión el que estuvo compuesto por 20% de suelo, 65% de arena y 15% de cemento (BTC1).

Esta tesis aporta como se mejora la clasificación de suelos mediante el uso de residuos de demolición y su verificación mediante la metodología AASHTO.

1.3.Bases Teóricas

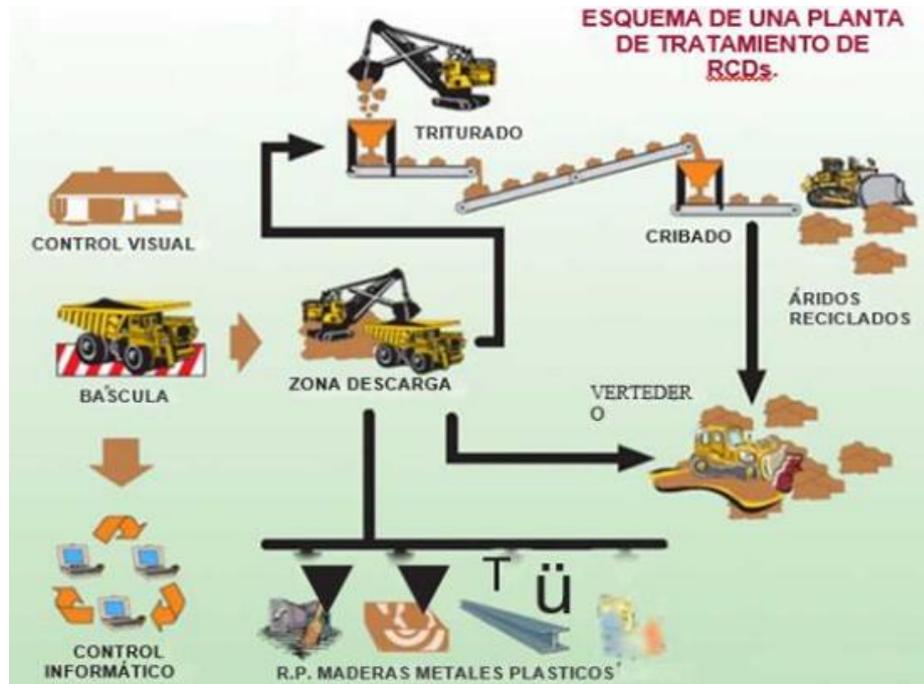
1.3.1. Residuos de construcción

La utilización y el reciclaje de los residuos de la construcción, a lo largo del tiempo, es una estrategia para llegar a alcanzar el desarrollo sostenible del sector vial, una vez dicho lo anterior esto nos da pie para unir intereses medioambientales y económicos para un mismo fin.

El reciclaje de los residuos de construcción y demolición se considera como la tecnología constructiva más limpia y amiga de los recursos naturales, ya que se busca sustentar la utilización de los materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, en la figura 1, podemos ver el esquema de una Planta de Tratamiento (RCD).

Figura 1

Esquema de Una Planta de Tratamiento RCD.



Nota. UAESP (2010, p. 17)

La instalación de residuos de la construcción es muy alta, donde se procesa materiales sacados de la demolición de estructuras, de muros perimetrales y de cimentaciones de los diferentes barrios que por el crecimiento de las ciudades son puestos en valor, se demuelen para construir hacia arriba (Montoya, 2003).

Estados Unidos, Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña, Alemania y Japón poseen programas para reciclar materiales de construcción con la creación de plantas de tratamiento. Dinamarca ha impuesto una tasa a partir del 1° de enero de 1990 por tonelada de residuos que no se recicle. Japón prevé reciclar de 10 a 12 millones de toneladas de hormigón por año. En los países anteriormente mencionados existe una legislación específica que regula y grava el vertido de los residuos de construcción (Natalini et al., 2000).

El uso de los residuos provenientes de la construcción y demolición, con el paso del tiempo en las vías, es una de las estrategias para alcanzar el desarrollo económico y sustentabilidad medioambiental del sector construcción (AEC, 2020).

El reciclaje proveniente de la construcción y demolición está calificado como el método beneficioso más limpia y amigable haciendo referencia a los recursos naturales, todo esto buscando sostener la reutilización de los materiales recuperados, para ser instalados como reemplazo de bases y sub bases según sea necesario, con el fin de preservar un uso sensato de los recursos a usar en nuevos proyectos. Este sistema a pesar de los procesos de clasificación, ha resultado especialmente favorable para el bolsillo de los empresarios de la construcción, en países donde los materiales utilizados en las estructuras viales son muy escasos además de los altos costos de disposición de escombros. Por tal razón, los RCD en la actualidad sería la única técnica conocida idónea para lograr minimizar la gran afectación realizada al medio ambiente por la explotación de materiales granulares para la conformación de estructuras viales (Toscano, 2008).

Con el paso del tiempo, han surgido diferentes investigaciones, por el rededor del mundo relacionado con la estabilización de subrasante, usando materiales alternativos los cuales puedan realizar un aporte físico-mecánico al suelo tratado. Una de las opciones para mejorar suelos con arcilla sería los RCD en sus de acuerdo a sus clasificaciones.

Los residuos de construcción y demolición, son aquellos provenientes de las diferentes obras, donde se realice rehabilitación o demolición de cualquier tipo, ya sea de obras viales o de construcción vertical (Cabrera et al., 2017).

Una manera de clasificar los diferentes residuos provenientes de excavación y demolición (RCD), puede ser de acuerdo a su origen (Fatta et al., 2003):

- ✓ Materiales provenientes de la excavación, los cuales corresponden a tierra, arena, grava, roca y similares.
- ✓ Construcción y mantenimiento de obras viales tales como asfalto, bases y sub bases.
- ✓ Demoliciones dentro de estas se encuentran bloques de concreto, ladrillo porcelano y similares.

En la tabla 1, se muestra la clasificación de RCD, tomada de la Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C.

Tabla 1

Clasificación de RCD.

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables.	I. Residuos mezclados.	Residuos pétreos.	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz # 200.
		Residuos finos no expansivos.	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz # 200.
	II. Residuos de material fino.	Residuos finos expansivos.	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200.
		Residuos no pétreos.	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos.

	III. Otros residuos.	Residuos de carácter metálico.	Acero, hierro, cobre, aluminio.
		Residuos orgánicos.	Residuos de tierra negra.
		Residuos orgánicos vegetales.	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
	IV. Residuos peligrosos.	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos.	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes.
	V. Residuos especiales.	No definida.	Polietileno, icopor, cartón, yeso (drywall).
RCD No aprovechable.	VI. Residuos contaminados	Residuos contaminados con residuos peligrosos.	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos.
	con otros residuos.	No definida.	Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias de su aprovechamiento.
Otros.	VII. Otros residuos.	No definida.	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reúso en obras.

Nota. Petro, G (2014, p. 7 y 8)

1.3.2. Residuos de construcción y demolición en el Perú

Tomando en cuenta el Decreto Supremo N°019-2016-VIVIENDA (Ministerio de Vivienda y Construcción, 2016), los residuos de construcción y demolición son considerados residuos sólidos según definidos en la Ley de Residuos Sólidos N°27314 de la Ley General de Residuos Sólidos, estos se generan durante la

construcción de edificaciones e infraestructura, que incluye obra nueva, ampliación, remodelación, obras menores, cercado o rehabilitación – refacción.

Seguendo este mismo Decreto Supremo, este clasifica a los residuos sólidos de construcción y demolición en los siguientes:

Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición Peligrosos

Tabla 2

Residuos de Construcción y Demolición Peligrosos

Residuos	Elementos Peligrosos Posiblemente Presentes	Peligrosidad
Restos de madera tratada	Arsénico, plomo, formaldehído, pentaclorofenol	Tóxicos, inflamables
Envases de removedores de pintura, aerosoles	Cloruro de metileno Tricloroetileno	Inflamables, irritantes
Envases de removedores de grasa, adhesivos, líquidos para remover pintura	Tricloroetileno	Inflamable y tóxico
Envases de pinturas, pesticidas, contrachapados de madera, colas, lacas.	Formaldehído	Tóxico, corrosivo
Restos de tubos fluorescentes, transformadores, condensadores, etc.	Mercurio, Bifenilos policlorados (BPCs)	Tóxicos
Restos de PVC (solo luego de ser sometidos a temperaturas mayores a 40°C)	Aditivos: Estabilizantes, colorantes, plastificantes	Inflamable, tóxico

Restos de planchas de fibrocemento con asbesto, pisos de vinilo asbesto, paneles divisores de asbesto	Asbesto o amianto	Tóxico (Cancerígeno)
Envases de pinturas y solventes	Benceno	Inflamable
Envases de preservantes de madera	Formaldehído, pentaclorofenol	Tóxico, inflamables
Envases de pinturas	Pigmentos: Cadmio, Plomo	Tóxico
Restos de cerámicos, baterías	Níquel	Tóxico
Filtros de aceite, envases de lubricantes	Hidrocarburos	Inflamable, tóxico

Nota. Decreto Supremo N°003-2013-VIVIENDA (2016, p. 48)

Residuos No Peligrosos (Reutilizables y Reciclables)

Según el Decreto Supremo N°019 – 2016 – VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016), estos son:

- Desmante limpio, este es producto de la excavación masiva de terreno para la cimentación.
- Instalaciones: Mobiliario fijo de cocina y mobiliario fijo de cuartos de baño.
- Cubiertas: Tejas, tragaluces y claraboyas, soleras prefabricadas, tableros y placas sándwich.
- Fachadas: Puertas, ventanas, revestimiento de piedra, elementos prefabricados de hormigón.
- Particiones interiores: Mamparas, tabiquerías móviles o fijas, barandillas, puertas y ventanas.

- Acabados interiores: Cielo raso, pavimentos flotantes, alicatados y elementos de decoración.
- Estructura: Vigas y pilares, elementos prefabricados de hormigón.

1.3.3. Suelo

Jaramillo (2002), en su investigación menciona lo siguiente:

La definición del suelo ha tenido varios matices, según quien la haga y según la época en la que la haga. Como lo indican Hillel (1998), Buol et al (1997), Malagón et al (1994) y Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993), entre otros autores, la palabra suelo ha llegado a tener significados muy simples tales como:

- ✓ El suelo, desde la perspectiva del agricultor, significa el lugar donde puede depositar sus semillas y en el que produce sus cosechas (Worthen, 1949).
- ✓ Desde la posición de un geólogo, se puede determinar como una capa terrosa que existe sobre un cuerpo rocoso.
- ✓ Desde el punto de vista de un constructor, el suelo significa el lugar donde apoyará sus estructuras o el sustrato que podrá brindarle algunos de los productos que necesita para elaborarlas.
- ✓ Para el criterio de un ecólogo, significa uno de los elementos del ecosistema que es parte de su estudio.
- ✓ Estando en la posición de un químico, viene a ser el laboratorio donde se dan lugar reacciones entre las diversas fases como lo son la fase sólida, líquida y gaseosa.
- ✓ Mientras que, un antropólogo o un arqueólogo quizá puedan ver al suelo como un antecedente del pasado. (p. 20)

Siguiendo la misma línea del autor mencionado, se establecen dos conceptos para el suelo:

- ✓ Es un material no del todo definitivo en el espacio de la tierra que puede aprovecharse como hábitat para el desarrollo de las plantas.
- ✓ Es un material mineral no estable en el espacio de la tierra que ha sido expuesto a la afectación de componentes genéticos y ambientales: Material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos estos componentes tomando acción durante un periodo de tiempo y produciendo una materia.

Según Ramírez (1997), debido a la relación entre los factores y procesos formadores es que se llega a la constitución del suelo con propiedades particulares. Es decir, un suelo presenta propiedades físicas, químicas y biológicas.

Haciendo referencia a la primera propiedad, entre las principales se encuentran: el color, la textura, la estructura, la porosidad, la consistencia, propiedades térmicas, densidad. Las principales propiedades químicas del suelo son la salinidad, capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH, la saturación de bases, la alcalinización, entre otras. Entre las propiedades biológicas destacan, el ciclo del nitrógeno y el ciclo de carbono.

- ✓ **Color:** Los suelos que presentan colores oscuros y con un indicador bajo de materia orgánica, indican la existencia de materia orgánica con óxidos de manganeso, hierro, etc. (Jaramillo, 2002)

El color rojo en los suelos, generalmente guarda concordancia con la existencia de la hematita, este color rojizo puede también presentarse a través de la presencia de hidróxidos férricos más o menos impregnados de óxidos férricos. Los suelos

que tienen un color ocre – amarillento, son los que tienen un componente cromógeno llamado goehtita. (Rucks et al., 2004)

- ✓ **Textura:** Esta característica guarda relación con el porcentaje de como las partículas del suelo puedan estar estructuradas o distribuidas. Se tienen partículas fundamentales como la arena, la arcilla y el limo. Esta propiedad tiene la facultad de actuar sobre la rapidez en la que el agua puede infiltrarse en el suelo, el drenaje del mismo, etc. (Ramírez, 1997)

Tabla 3

Tamaño de partículas del suelo

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

Nota. Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos – MTC (2014, p. 33)

- ✓ **Estructura:** La estructura, en términos generales, viene a ser la unión o la integración de las partículas individuales del suelo para lograr la conformación de unidades de mayor tamaño llamadas estas, agregados o terrones, los que son el producto de procesos pedogenéticos. (Moreno et al., 2010)
- ✓ **Densidad:** Esta se divide en densidad real y densidad aparente. Según Gisbert et al., 2012, estas se definen de la siguiente manera:

- Densidad real: Esta solo está relacionada con el tamaño de las partículas sólidas del suelo. Las partículas pequeñas ocupan menos espacio que las grandes. Lo mismo es cierto viceversa. La densidad real viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho_r = \frac{m_{ss}}{V_T}$$

Donde:

Mss: Masa de suelo seco en estufa.

Vt: Volumen total ocupado por el suelo.

- Densidad aparente: Las partículas que son componentes del suelo tampoco están aisladas unas de otras, sino que están conectadas por medio de distintos agentes cementantes y enlaces químicos formando agregados. Estos agregados se comportan espacialmente como partículas de gran tamaño, ocultando aún más los valores reales de densidad al alterar distribución de poros y, por tanto, la relación volumen total – volumen de poros – volumen de sólidos. Como resultado del material poroso, la densidad aparente del suelo es menor que si el material estuviera completamente compactado. La densidad aparente se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \frac{m_{ss}}{V_s}$$

Donde:

Mss: Masa de suelo seco en estufa.

Vs: Volumen de suelo.

- ✓ **Porosidad:** Siguiendo la investigación de Gisbert et al., 2012. Teniendo en cuenta que los huecos se eliminan cuando se compacta el suelo, es razonable suponer que los valores de densidad aparente y verdadera permiten estimar la

porosidad (la misma fracción no ocupada por los sólidos), sin la cual habría que medirlos directamente. Por lo tanto, la porosidad del suelo se puede determinar a partir de la siguiente fórmula:

$$P(\%) = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} * 100$$

Donde:

Pr: Densidad real

Pa: Densidad aparente

1.3.3.1. Clasificación de suelos AASHTO

Manual de Ensayo de Materiales (MTC, 2016), afirma lo siguiente: El departamento de Caminos Públicos de USA, insertó uno de los primeros sistemas de clasificación, para poder calificar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. Posteriormente en 1945 fue modificado y desde entonces se le conoce como sistema AASHTO y recientemente AASHTO.

Este sistema describe como clasificar a los suelos en grupos según la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad. Cada grupo se evalúa utilizando un “índice de grupo”. Esto se registra en números enteros y se registra como 0 si se obtienen valores negativos. El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se utilizan para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. El valor del índice de grupo siempre debe estar entre paréntesis después del símbolo de grupo, así: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc. Si el suelo es NP o si no se puede determinar el límite, se debe considerar el índice de grupo como (0). Si el suelo es altamente orgánico (turba) puede clasificarse como A-8 solo por inspección visual, sin considerar el porcentaje

bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y tiene un fuerte olor pútrido.

A continuación, se muestra la tabla para la clasificación AASHTO.

Tabla 4

Clasificación de Suelos – AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5**
											A-7-6**
2mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≤ 51								
0,8 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
W_L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$					
Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$											

Nota. Manual de Ensayo de Materiales – MTC (2016, p. 1159)

1.3.3.2. Clasificación de suelos SUCS

Este sistema unificado de clasificación de suelos, fue desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande, ingeniero civil que avocó su estudio al comportamiento del suelo, su clasificación y la filtración a través de la tierra.

Según el Manual de Ensayo de Materiales (MTC, 2016), el sistema se basa en la identificación de los suelos por sus propiedades estructurales y de plasticidad, y sus agrupaciones relacionadas con su comportamiento como materiales de ingeniería. La clasificación del suelo se basa en las siguientes características:

- Porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa por el tamiz N° 200).
- Forma de la curva de distribución granulométrica.
- Características de plasticidad y compresibilidad.

Se establecen fracciones de suelos: Cantos rodados, gravas, arena y finos (limo o arcilla). Los suelos de grano grueso contienen 50% o menos de material más pequeño que la malla del tamiz N° 200, y los suelos de grano fino contienen más del 50% de material más pequeño que el tamiz N° 200.

Los suelos altamente orgánicos son identificados mayormente por inspección visual. Los suelos de grano grueso se dividen en grava (G) y arena (S). Las gravas son los suelos de grano grueso que tienen mayor porcentaje de fracción gruesa (la que no pasa por el tamiz N° 200) retenida en el tamiz N° 4, y las arenas son las que su porción mayor pasa por el tamiz N° 4. Tanto las gravas (G), como las arenas (S), son subdivididas en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica.

Los suelos de grano fino se pueden dividir en limos (M) y arcillas (C), según su límite líquido y su índice de plasticidad. Los limos son suelos de grano fino que presentan un límite líquido y un índice de plasticidad, y las arcillas son las que dan puntos por encima de la línea “A”. Esto no es válido para las arcillas orgánicas ya que el límite líquido y el índice de plasticidad de estos suelos dan puntos por debajo de la línea “A”, El limo (M) y la arcilla (C) se dividen en dos grupos secundarios basados en el límite líquido bajo del suelo (L – low), o alto (H – high).

Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy comprensibles y no se recomiendan para la construcción. Estos se clasifican dentro del grupo designado por el símbolo Pt. Turba (Peat). El humus y los suelos de pantano son ejemplos típicos de este grupo de suelos.

Tabla 5

Sistema Unificado de Clasificación de suelos

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N.º 200	GRAVAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N.º 4).	GRAVA LIMPIA (Poco o ningún fino)	GW Grava bien graduada, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	Determinar el porcentaje de arena y grava de la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz Nº200), los suelos de grano grueso y de grano fino se clasifican así: Menos del 5% _____ GW , GP, SW, SP Más del 12% _____ GM , GC, SM, SC 5% al 12% caso límite que requiere el uso de símbolos doble**	Coeficiente de Uniformidad Cu: mayor de 4. Coeficiente de Curvatura Cc: entre 1 y 3. $Cu = D60 / D10$ $Cc = (D30)^2 / (D10)(D60)$	
			GP Grava mal graduada, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos		No reúne los requisitos de granulometría para GW	
		GRAVAS CON FINOS (Apreciable cantidad de finos)	GM d u Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		Límites de Atterberg bajo la línea "A" o I.P. menor de 4	Caso de estar sobre la línea "A" con I.P. entre 4 y 7: estamos en un caso "límite", y usarse los símbolos dobles.
			GC Mezcla bien graduado de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante.			
	ARENAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el	ARENA LIMPIA (Poco o ningún fino)	SW Arena bien graduada y arena gravillosa. Poco o nada de finos		$Cu = D60 / D10$ mayor de 6 ; $Cc = (D30)^2 / (D10)(D60)$ entre 1 y 3.	
			SP Arena mal graduada. Arena gravillosa. Poco o nada de finos.		No reúne los requisitos de granulometría para SW	

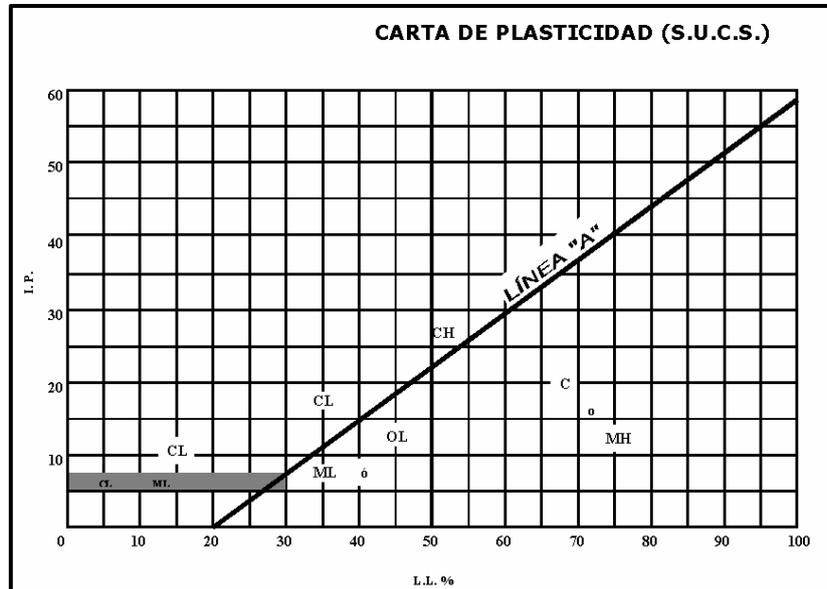
		ARENA CON FINOS (Apreciable cantidad de finos)	SM	d u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg bajo la línea "A" o I.P. menor de 4.	Caso de estar sobre la línea "A" con I.P. entre 4 y 7: estamos en un caso "límite", y usarse los símbolos dobles.
			SC		Mezcla bien graduada arena y arcilla. Excelente aglutinante.		Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor a 7.	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material pasa por la malla N° 200	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido es menor de 50%)		ML		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad		
			CL		Arcilla Inorgánica de baja a media plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravillosa. Arcilla limosa. Arcilla floja.			
			OL		Limos. Orgánico. Limos - arcilla orgánico de baja plasticidad.			

	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido es mayor de 50%)	MH	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcillas francas.
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad
	Suelos altamente orgánicos	Pt.	Turba (pect) y otros suelos altamente orgánicos.

Nota. Manual de Ensayos – MTC (2016, p. 1161)

Figura 2

Carta de Plasticidad



Nota. Borselli, (2021-2022, p. 10)

Las divisiones de los grupos GM y SM en las subdivisiones “d” y “u” son aplicables únicamente para caminos y aeródromos. Las subdivisiones se basan en los límites de Atterberg. El sufijo “d” es usado cuando LL es 28 o menos y el PI es 6 o menos. Sufijo “u” es usado cuando LL es mayor de 28.

Clasificación en la línea divisoria, usada para suelos que poseen características de dos grupos es designado por la combinación de símbolos de grupos. Por ejemplo: GW – GC, mezcla de arena y grava bien graduada con arcilla como aglutinante.

1.3.4. Suelo Arcilloso

En los granos de suelo fino, existen fuerzas que producen acción muy importante, debido a que, en este tipo de granos, la relación de área a volumen alcanza valores de alto nivel y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran trascendencia. Se considera que este comportamiento

en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que 2 micras (0.002 mm).

Según Juárez y Rico (2005) mencionan que una de las teorías más comunes para explicar la estructura interna de las arcillas es la siguiente: La superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla. Así la partícula atrae a los iones positivos del agua (H^+) y a cationes de diferentes elementos químicos, tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++} , Fe^{+++} , etc. Lo anterior, conlleva a que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada de una capa de moléculas de agua orientadas en forma definida y ligadas a su estructura (agua adsorbida).

Las moléculas de agua son polarizadas, es decir, en ellas no coinciden los centros de gravedad de sus cargas negativas y positivas, sino que funcionan como pequeños dipolos permanentes; al ligarse a la partícula por su carga (+), el polo de carga (-) queda en posibilidad de actuar como origen de atracción para otros cationes positivos. Los propios cationes atraen moléculas de agua por la naturaleza polarizada de estas, es así que cada catión está en posibilidad de poseer un volumen de agua en torno a él. El agua adsorbida por cada catión aumenta con la carga eléctrica de este y con su radio iónico. Es por ello, que cuando las partículas del suelo atraen a los cationes, se ve reforzada la película de agua ligada a la partícula. El espesor de la película de agua adsorbida por el cristal de suelo es así función tanto de la naturaleza del mismo como también del tipo de los cationes atraídos.

Las temperaturas a que se encuentra normalmente en la mas de suelo, la película de agua adsorbida por los cristales de arcilla, tendrá las propiedades similares

a la del hielo sólido (capa sólida). Más alejadas del cristal, otras moléculas de agua se encuentran sometidas a presiones gradualmente menores; esta agua tiene propiedades intermedias entre el hielo y el agua en estado líquido normal, pudiendo decirse que su comportamiento es el de un fluido de alta viscosidad (capa viscosa). Las moléculas de agua no sujetas al cristal por fuerzas de superficie mantienen sus características usuales (agua libre o gravitacional).

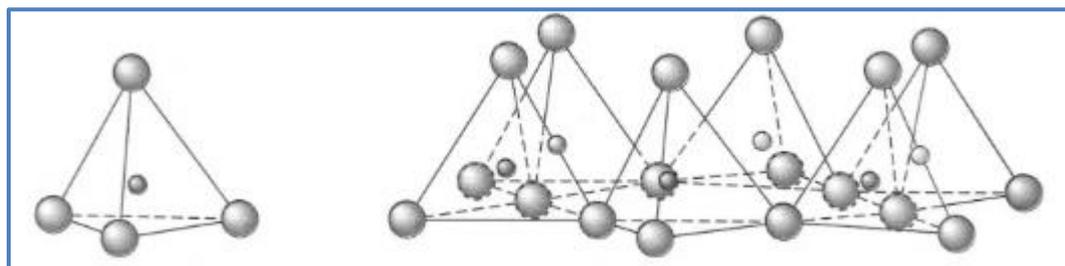
1.3.4.1. Minerales Arcillosos

Los minerales arcillosos desde su composición química, son complejos silicatos de aluminio conformados por dos unidades estructurales básicas, siendo las siguientes:

Braja M. Das (2001) en su investigación señala que, un tetraedro de sílice, consta de cuatro átomos de oxígeno rodeando a un átomo de silicio (Figura 3), la combinación de tetraedros de sílice da una lámina de sílice. Los tres átomos de oxígeno en la base de cada tetraedro son compartidos por tetraedros adyacentes.

Figura 3

Unidad Tetraédrica



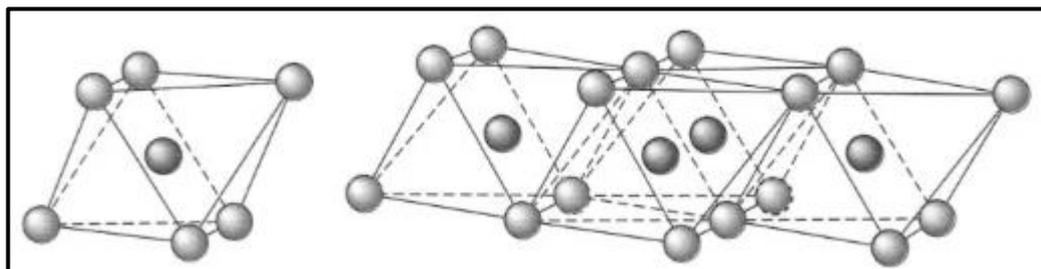
Nota. Braja M. Das (2001, p. 30)

Las unidades octaédricas consisten en seis hidroxilos que rodean a un átomo de aluminio, la mezcla de estas unidades octaédricas de hidroxilos de aluminio da como resultado una lámina octaédrica o también llamada lámina de gibbsita. En

algunas circunstancias el magnesio reemplaza los átomos de aluminio en las unidades octaédricas, para este caso, la lámina recibe el nombre de brucita.

Figura 4

Unidad Octaédrica

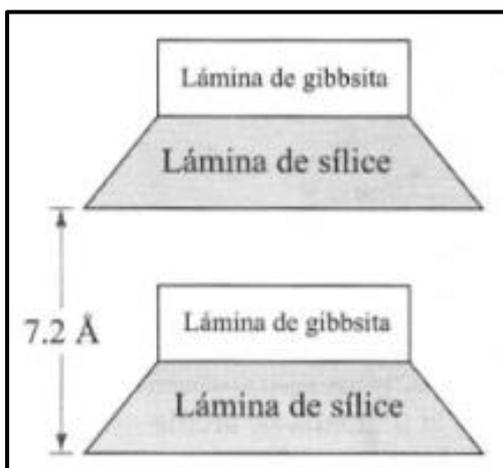


Nota. Braja M. Das (2001, p. 30)

- **La Caolinita:** Este grupo consta de capas repetidas de láminas elementales de sílice – gibbsita, cada capa es de un espesor aproximado de 7.2 Å, unidas por enlaces de hidrógenos. La caolinita se forma por la erosión de rocas ácidas y la alteración hidrometal de feldespatos y micas.

Figura 5

Estructura de la caolinita



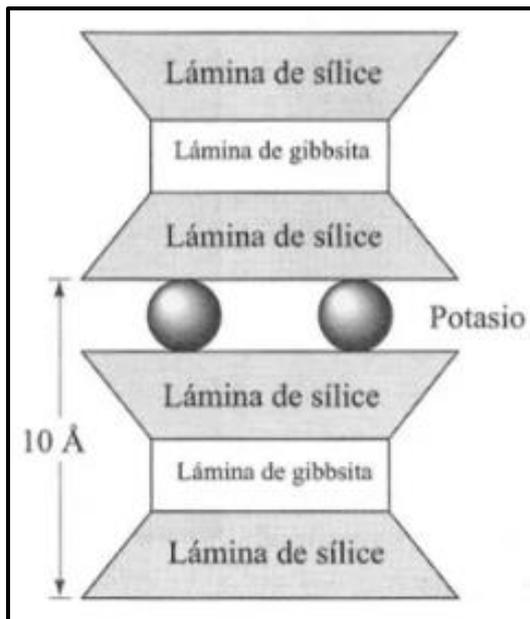
Nota. Braja M. Das (2001, p. 31)

- **La Illita:** Consiste en capas de gibbsita asociadas con dos capas superior e inferior de sílice, a veces llamada mica arcillosa. Se forma meteorizando la moscovita.

Las capas de ilita están conectadas por iones de potasio. Se obtiene una carga negativa para equilibrar los iones de potasio sustituyendo el silicio por aluminio en las capas tetraédricas.

Figura 6

Estructura de la ilita

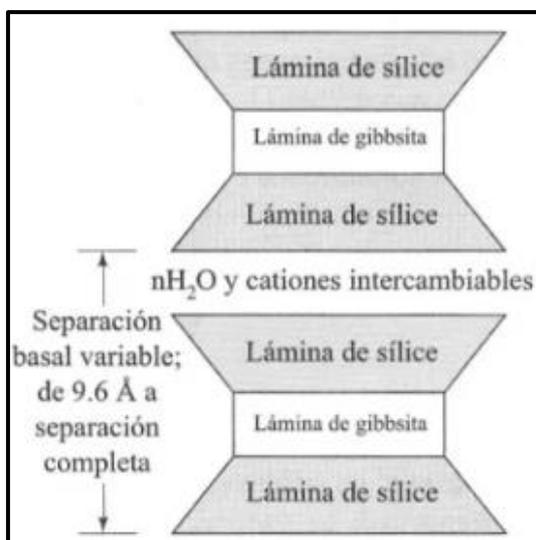


Nota. Braja M. Das (2001, p. 31)

- **La monmorilonita:** Su estructura es muy parecida a la de la ilita, una lámina de gibbsita intercalada entre dos láminas de sílice. Para el caso, existe reemplazo isomorfo de magnesio y hierro por aluminio en las láminas octaédricas. Los iones de potasio no se presentan como lo hace si hacemos referencia a la ilita y una gran cantidad de agua es atraída hacia los espacios entre las capas

Figura 7

Estructura de la illita



Nota. Braja M. Das (2001, p. 31)

1.3.5. Estabilización de suelos

De acuerdo al Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014), define a la estabilización de suelos como la optimización de las propiedades físicas de un suelo mediante procesos mecánicos y la integración a productos químicos, naturales o sintéticos. Estas, generalmente se llevan a cabo en suelos que presentan una sub rasante no apta o no suficiente, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. Mientras que; al estabilizar una subbase granular o base granular, para llegar a alcanzar un producto o material de una calidad mayor se le llama subbase o base granular tratada ya sea con cemento, asfalto o cal, etc.

La estabilización de suelos se fundamenta en proveer a los suelos de una mayor resistencia mecánica y de darles la mayor permanencia de estas propiedades a lo largo del tiempo. Existe una variedad de técnicas que abarcan desde la adición

de otro suelo hasta la integración a uno o más productos estabilizantes. Toda modalidad o método de estabilización viene acompañado de un proceso de compactación.

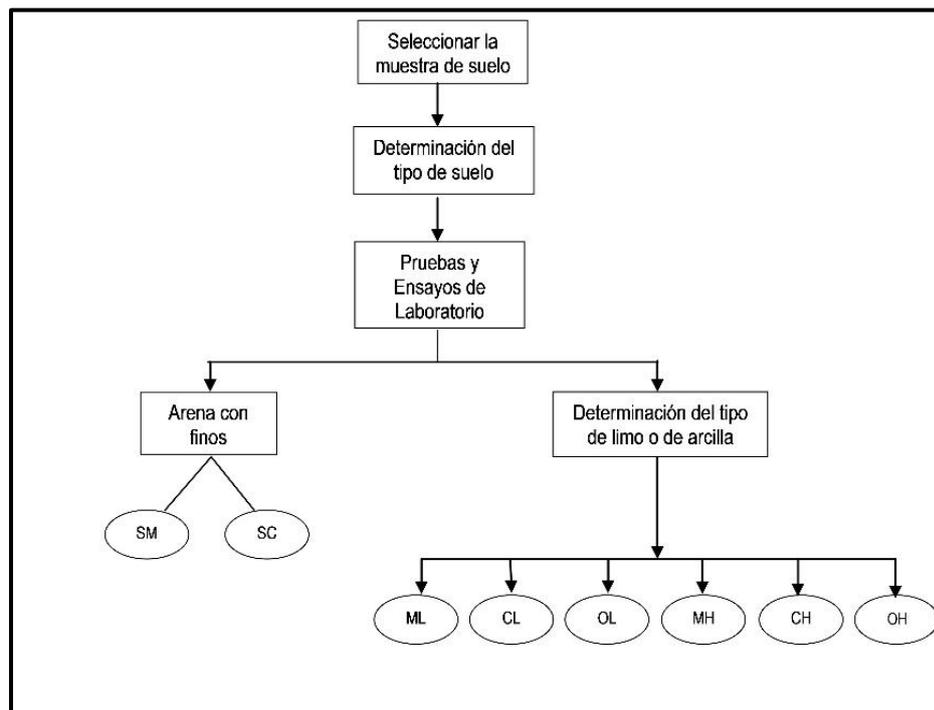
1.3.5.1. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

- Los suelos que presenten un $\text{CBR} \geq 6\%$, son considerados materiales adecuados para las capas de la sub rasante. Si se da el caso de ser menor, se considerará como una sub rasante insuficiente o sub rasante inadecuada, o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será objeto es estudios especiales para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.
- Se debe proyectar una capa de producto anticontaminante de por lo menos 10 centímetros de espesor o un geotextil, cada que la capa de sub rasante sea de un material limoso o arcilloso y que, al tener contacto con el agua, partículas de estos materiales puedan ingresar en las capas granulares del pavimento, pudiendo así contaminarlas.
- Cuando se presente una sub rasante extraordinaria o muy buena, la superficie de esta debe quedar por lo menos a 0.60 metros por encima del nivel de la napa freática; en el caso de que se trate de una sub rasante buena a regular, esta deberá estar por lo menos a 0.80 metros por encima del nivel de la napa freática; si se tratase de una sub rasante insuficiente, este valor deberá ser de por lo menos 1.00 metro y si se tiene el caso de una sub rasante inadecuada se considerará una medida de 1.20 metros por encima de la napa freática. Si fuese necesario, se optará por colocar sub drenes o capas anti contaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta donde sea necesario.

- En zonas que superen los 4000 m.s.n.m., se estimará la influencia de las heladas en los suelos. Mayormente, el congelamiento está directamente relacionada con la profundidad de la napa freática y la vulnerabilidad del suelo al congelamiento.
- Se torna inminente la determinación del tipo de suelo existente para poder determinar el tipo de estabilización adecuado o necesario. Los limos, las arenas limosas o arcillos y las arcillas son los tipos de suelo que prevalecen en este ámbito. En la siguiente figura se puede observar el proceso sintetizado para la identificación del tipo de suelo.

Figura 8

Proceso para la Identificación del Tipo del suelo

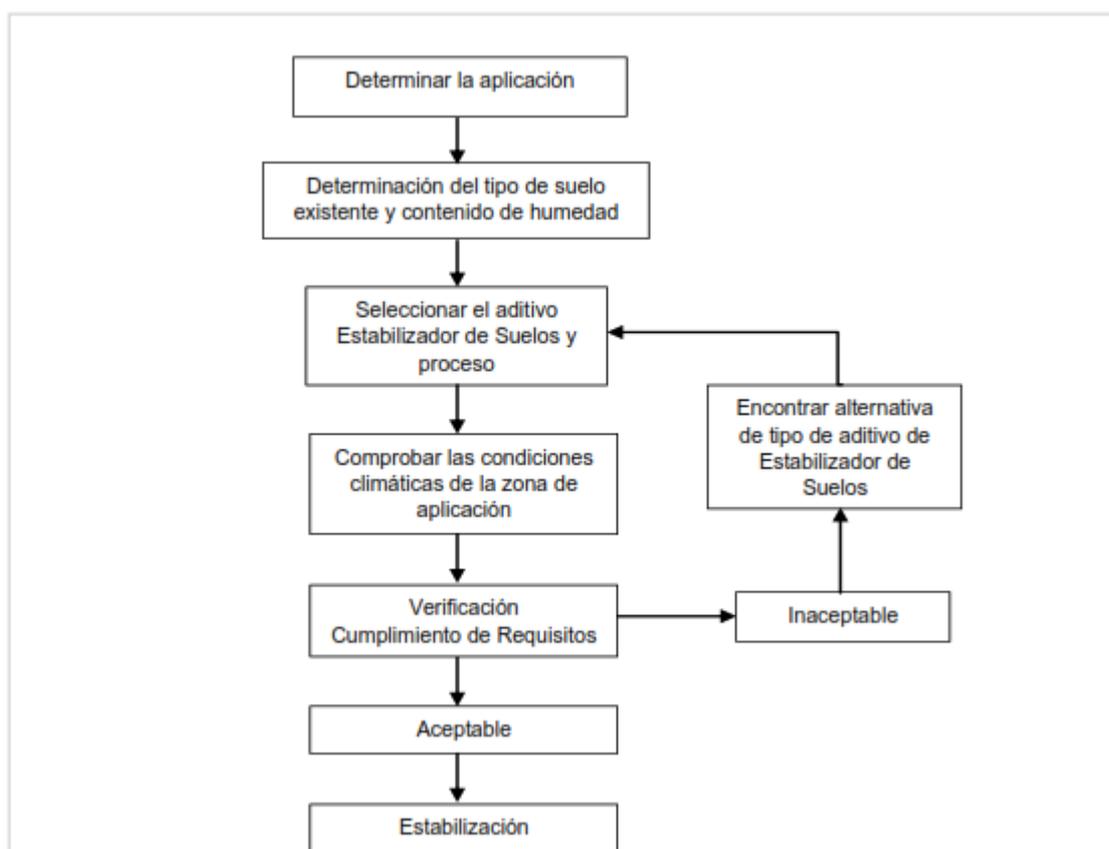


Nota. Manual de carreteras – Suelo y pavimentos – MTC(2014, p. 91)

- Existen elementos o componentes que se toman en cuenta al momento de la determinación del método más favorable de estabilización, estos son:
 - El tipo de suelo a ser estabilizado.

- El uso propuesto del suelo estabilizado.
- Tipo de aditivo estabilizador de suelos.
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará.
- Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
- Disponibilidad del equipo adecuado.
- Costos comparativos.

A continuación, se presenta un esquema sintetizado de los procesos implicados en la determinación del método adecuado de estabilización:



1.3.5.2. Tipos de estabilización

- **Estabilización mecánica de suelos**, con este tipo de estabilización, a lo que se aspira es a la optimización del material del suelo existente. Esto, sin alterar su

estructura y su composición básica. Para poder obtener este tipo de estabilización se hace uso de la compactación, esta provoca la reducción del volumen de vacíos en el suelo.

- **Estabilización por combinación de suelos**, este tipo de estabilización se basa en la composición o unión de dos materiales: el material del suelo inalterado y el material comúnmente llamado, de préstamo.
- **Estabilización por sustitución de suelos**, Al disponer de la construcción de la sub rasante optimizada solamente con material adicionado, surgen dos posiciones, una de ellas es que la capa se construya de forma directa sobre el suelo inalterado, la otra es que previamente se lleve a cabo la excavación del suelo inalterado y este sea reemplazado por el material de adición.

Para la primera situación, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de 15 cm. Una vez el suelo de soporte se considere debidamente preparado, se autorizará la colocación de los materiales, en espesores que den la garantía de la obtención del nivel de sub rasante y densidad requeridos, empleando el equipo de compactación adecuado.

Con respecto a la segunda situación, se ve involucrada la sustracción total del suelo inalterado, esto acorde al espesor de reemplazo, al optar por la optimización con material totalmente. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procede a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

- **Suelos estabilizados con cal**, la conformación del suelo-cal, se alcanza mediante una mezcla exclusiva entre suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico, más conocido como cal viva, este es conseguido por la combustión de materiales calizos o cal apagada. Estas cales son denominadas también aéreas por su capacidad al endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico. La implicancia más importante de la cal sobre el suelo, es la de cambiar significativamente su plasticidad. Por ejemplo, suelos de plasticidad $IP < 15$, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con $IP > 15$) disminuye el IP.
- **Suelos estabilizados con cemento**, La mezcla de suelo – cemento se alcanza mediante la mezcla de un suelo completamente disgregado con cemento, agua y otros materiales adicionales, continuado de una compactación y un curado adecuados. Es así, que, el material suelto pasa a ser otro endurecido, siendo este mucho más resistente La resistencia del suelo-cemento aumenta debido al contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumentan o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.
- **Suelos estabilizados con escoria**, actualmente este material se emplea como estabilizante en diferentes partes del mundo, al hacer uso del producto se evita la exploración de nuevas canteras, perseverando el paisajismo de la zona; al no requerir procesamiento de los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y a vez se reducen las emisiones de CO_2 al ambiente.

- **Estabilización con cloruro de sodio**, el aprovechamiento más significativo de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. La sal es también utilizada en zonas muy secas, esto con el fin de prevenir la acelerada evaporación del agua de compactación. La sal es considerada como un estabilizante natural, que está compuesta por aproximadamente 98% de cloruro de sodio y un 2% de arcillas y limos, su principal propiedad es la absorción de la humedad del aire y de los materiales que le rodean, disminuyendo así el punto de evaporación y optimizando la cohesión del suelo. Tiene también la propiedad de ser un agente coagulante, esto provoca la reducción del esfuerzo mecánico para alcanzar la densificación idónea, esto ocurre por el intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes de la matriz fina, produciendo una acción cementante.
- **Estabilización con cloruro de calcio**, este material estabilizante trabaja de una forma sinónima a la sal, pero es recomendable al ser el cloruro de sodio, un agente oxidante. El cloruro de calcio, ayuda con la resistencia del suelo y facilita al proceso de compactación, evita el desmoronamiento de la superficie y sirve como mitigante ante el polvo.
- **Estabilización con cloruro de magnesio**, Una superficie de rodado más dura se llega a obtener por el incremento de la tensión superficial, esta propiedad es otorgada por el cloruro de magnesio. Desde el enfoque químico, el cloruro de magnesio está conformado aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su

gran contenido de humedad. Presenta una variedad de propiedades, las que son útiles para fines viales, siendo estas las siguientes:

- Higroscópica: Esta propiedad, le otorga la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
 - Ligante: Enlaza las partículas finas, permitiendo así, la conformación de la capa de rodadura.
 - Resistente a la evaporación: Dispone de un bajo nivel de tensión de par, esto da lugar a que no se pierda la humedad absorbida.
 - Baja temperatura de congelamiento: $-32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.
- **Estabilización con productos asfálticos**, este tipo de estabilización tiene dos propósitos principales. El primero es, aumentar la estabilidad del suelo debido a las propiedades cohesivas del aglomerante que rodea las partículas del suelo. El segundo es, la impermeabilización del suelo, lo que lo vuelve menos susceptible a los cambios de humedad y más estable en condiciones adversas. Los materiales asfálticos comúnmente utilizados son la emulsión asfáltica y el asfalto licuado de viscosidad media.
 - **Estabilización con geosintéticos**, este tipo de estabilización mejor considerablemente el rendimiento y construcción de los pavimentos, esto debido a su propiedad de resistencia a la tracción. Los precedentes internacionales reconocen la diversidad de funciones de los geosintéticos, por lo que se sabe que las funciones de drenaje y control de la contaminación son tareas específicas de

los geotextiles. Una función particular del refuerzo o armado del terreno o también llamada explanada o de los pavimentos, está en el campo de las geomallas. La función de impermeabilización o protección recae en el campo de las geomembranas.

La presente investigación siguió su justificación de acuerdo a los criterios de Hernández y Mendoza (2018) quien señala que una investigación se justifica desde los criterios de conveniencia, relevancia social, implicaciones prácticas, valor teórico, y utilidad metodológica. Desde el criterio de conveniencia se justifica por cuanto contribuye con una alternativa para solucionar un problema ambiental que es la puesta en valor, reciclaje y sustentación de los residuos de construcción y demolición (RCD) que afecta el sector de la construcción civil, particularmente en el distrito de Trujillo SEGAT (2013), desde el punto de vista social, se justifica, por cuanto la actividad de la construcción civil, genera residuos que dañan los espacios públicos periféricos, impactan al medio ambiente y afecta a la industria de la construcción y las autoridades municipales no dan solución a la gestión de estos residuos, dado que ponerlos en valor contribuye a viabilizar una solución privada.

Desde el criterio práctico, si bien hay muchas teorías, no se han aplicado estudios específicos a nuestra realidad y a la solución o demanda de estos residuos, en este sentido, sustentar que pueden ser puestos en valor a través del mantenimiento de vías de comunicación es de gran valor, pues la demanda de mantenimientos de vías, en particular rurales, puede absorber estos residuos y generar un área de la construcción civil, de infraestructura y ambiental.

Desde el criterio de valor teórico, se lleva varios vacíos de conocimiento, como son el tipo de residuos de desmonte, el tipo de suelos rurales, y la viabilidad de mejorar las vías rurales a través de la mitigación ambiental de la construcción. Desde el criterio metodológico, se justifica porque aportan metodologías y validación para la toma de iniciativas públicas y privadas.

1.4. Formulación del problema

¿En qué medida influye los agregados reciclados de construcción para estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, 2022?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia de agregados reciclados de construcción para estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, 2022.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar las características mecánicas del suelo.
- ✓ Determinar la caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante.
- ✓ Determinar el porcentaje adecuado de agregado reciclado de construcción para la estabilización del suelo.
- ✓ Comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizante.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Los agregados reciclados de construcción mejoran la estabilización de suelos arcillosos.

1.6.2. Hipótesis específicas

- ✓ Los agregados reciclados de construcción disminuyen la plasticidad del suelo arcilloso.
- ✓ Los agregados reciclados de construcción disminuyen la humedad del suelo arcilloso.
- ✓ Los agregados reciclados de construcción disminuyen la deformación y aumenta el esfuerzo del suelo arcilloso.
- ✓ Los agregados reciclados de construcción incrementan los parámetros de resistencia de suelo arcilloso.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación es aplicada, porque de acuerdo a Hernández et al. (2010) es el tipo de investigación en la cual el problema está establecido y es conocido por el investigador, por lo que utiliza la investigación para dar respuesta a preguntas específicas, en el caso de esta investigación, el problema es la estabilización de suelos arcillosos y se busca influenciar los agregados reciclados de construcción.

Según su naturaleza: Es cuantitativa, porque analiza las variables en función de valores numéricos, recogidos a través de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos y fueron elaborados en base a las dimensiones e indicadores de las variables. Los resultados que son obtenidos de la observación de las variables en estudio se describen mediante las tablas y gráficos estadístico coherentes con la metodología cuantitativa y la validez se hace por muestra probabilística lo cual garantiza que sea representativo y las pruebas de hipótesis mediante inferencia estadista lo que valida indubitablemente su validez empírica.

Diseño de investigación:

El diseño es Pre - Experimental

M: $O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$

Dónde:

M : Muestra de estudio

Ox : Estabilidad de suelo arcilloso antes

X : Agregados reciclados de construcción.

Oy : Estabilidad de suelo arcilloso después

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

Suelo arcilloso en la vía Panubamba – San Sebastián, Santiago de Chuco.

Muestra

Suelo arcilloso del km+3.50 al km+5.50 en el tramo Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

La técnica empleada para la recolección de datos, fue la observación, siendo esta la ideal y el de mayor tendencia en uso para la recolección de datos y para llevar a cabo la aplicación de ensayos de laboratorio. Para ello se realiza la visita a campo, la extracción de suelo para ser llevado a laboratorio.

Así mismo, se empleó la revisión documental, esta técnica permitió obtener información sobre las variables de la investigación.

Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron: los equipos de laboratorio normado por el Manual de Ensayo de Materiales que proporciona el MTC, esto para poder realizar los ensayos al suelo natural y al suelo con agente estabilizante. Para procesar los datos se utilizó un equipo de cómputo. Así mismo, se emplearon manuales de ensayos de materiales, dispositivos para tomar fotografías, antecedentes bibliográficos y apuntes.

Análisis de datos

Se usarán fichas resumen de comparación de resultados de suelo natural y de suelo con agente estabilizante en base a las diferentes formulaciones.

Para el análisis de datos de los ensayos se utilizó el software Microsoft Excel, utilizando formatos para cada ensayo.

2.4. Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación, se siguieron cinco etapas tales como: selección de muestra, determinación de la fuente de agregado reciclado, determinación de proporción de estabilizante, la realización de ensayos y el análisis de los datos obtenidos, siendo estos necesarios para lograr los objetivos propuestos en el capítulo anterior.

Se realizó la selección de la muestra, la misma que analiza el suelo arcilloso del km+3.50 al km+5.50 en el tramo Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba.

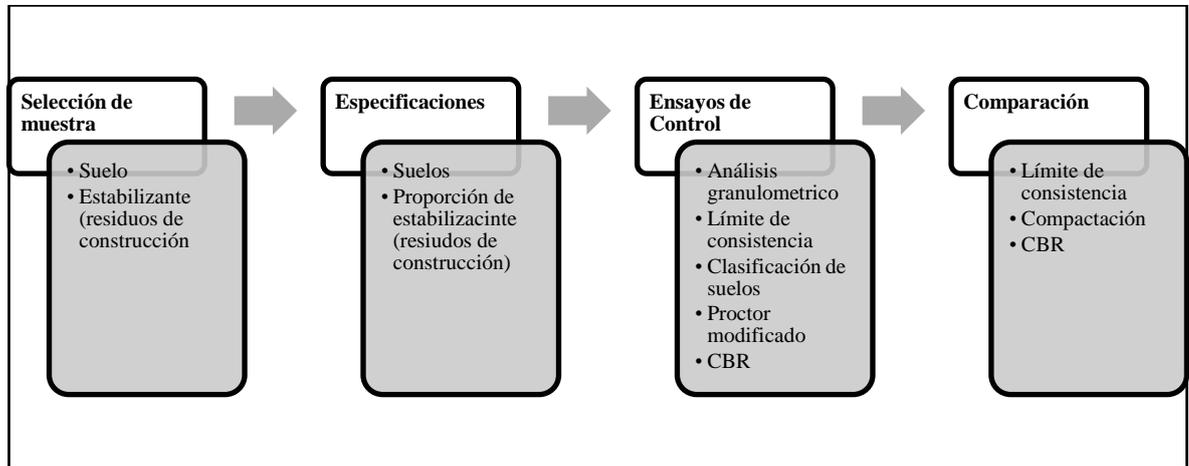
Luego, se determinó la fuente de agregados reciclados, así como su selección y tratamiento. Teniendo ya caracterizado el suelo, se determinó la proporción de residuos como material estabilizante.

Posteriormente, se procedió a realizar ensayos para verificar el logro de la estabilización del suelo, los mismos que consistieron de análisis granulométrico, límite de consistencia, clasificación de suelos, Proctor modificado y CBR.

Finalmente se compararon los límites de consistencia, compactación y CBR para determinar en qué medida se estabilizó el suelo y como mejoró la vía.

Figura 9

Procedimiento de investigación



Nota. Elaboración Propia

2.5. Ensayos

2.5.1. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (ASTM D422) (MTC E107)

El objetivo de este ensayo es precisar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas del suelo. Así también, sirve para determinar los porcentajes de suelo que pasan por las mallas hasta la malla N° 200.

Se hizo el uso de los siguientes equipos y materiales:

- Balanza.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Tamices de malla cuadrada
- Recipientes que puedan ser usados para el manejo y secado de muestras.
- Cepillo y brocha para la limpieza de los tamices.

Se pasó previamente la muestra por el tamiz N°4 y se hizo el lavado empleando el tamiz N° 200 con abundante agua, evitando la fricción con el tamiz

para tener cuidado de no perder ninguna partícula de las retenidas en él. Posteriormente se colocó el material en un recipiente para ser llevado al horno de secado a una temperatura de 110°C durante 24h. Finalmente se realizó el tamizado en seco, siguiendo a pesar las muestras retenidas en cada tamiz.

Figura 10

Registro de pesos retenidos en cada tamiz



Nota. Elaboración propia

Con respecto a los cálculos, se realizaron siguiendo las fórmulas a continuación:

Porcentaje de peso retenido

Se puede calcular el porcentaje de material que pasa por cada malla, haciendo uso de la expresión a continuación:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

Porcentaje de peso retenido acumulado

Se calcula el porcentaje de material retenido acumulado mediante la siguiente expresión:

$$\%Retenido\ acumulado = \%retenido\ anterior + \%retenido$$

Porcentaje que pasa

Se calcula el porcentaje que pasa de cada tamiz restando de 100% el porcentaje retenido acumulado en dicha malla.

$$\% que\ pasa = 100 - \% retenido\ acumulado$$

Finalmente, se procedió a graficar la curva granulométrica en escala logarítmica. Teniendo en el eje de las abscisas, los valores correspondientes a las aberturas de los tamices expresados en milímetros; mientras que, en el eje de las ordenadas se graficaron los porcentajes que pasan por los tamices empleados.

2.5.2. Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D2216) (MTC E108)

El propósito de esta prueba es determinar el peso del agua perdida al secar el suelo húmedo a peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Se hizo el uso de los siguientes equipos y materiales:

- Horno de secado termostáticamente controlado, con la capacidad de una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Balanza de capacidad conveniente.
- Recipientes que sean resistentes al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo.
- Utensilios para manipulación de los recipientes.

Se procedió a determinar y registrar la masa de un envase limpio y seco, el mismo que fue rotulado para evitar la mezcla de resultados de los especímenes. Luego, se colocó el espécimen de ensayo húmedo en el envase y de igual forma se registró el peso del contenedor y la muestra haciendo uso de una balanza. Posteriormente, se puso el envase con la muestra húmeda en el horno hasta lograr una masa constante manteniendo el secado en el horno a 110 °C durante 24 horas. Después de ello, se retiró el envase del horno y se esperó al enfriamiento del material para que este pueda ser manipulado cómoda y seguramente a temperatura ambiente. Finalmente, se registró el peso del envase y el material secado al horno.

Figura 11

Colocación de muestra húmeda en el envase



Nota. Elaboración propia

Figura 12

Colocación de muestras al horno



Nota. Elaboración propia

Con respecto a los cálculos, se realizaron siguiendo las fórmulas a continuación:

Contenido de Humedad

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad expresado en porcentaje.

M_{cws} = Peso del envase más el suelo húmedo, en gramos.

M_{cs} = Peso del envase más el suelo secado en horno, en gramos.

M_C = Peso del envase, en gramos.

M_W = Peso del agua, en gramos.

M_S = Peso de las partículas sólidas, en gramos.

2.5.3. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110) (MTC E111)

Según el manual de ensayos (MTC, 2016) el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de

suelos, son ampliamente utilizados ya sea individualmente o en combinación con otras propiedades del suelo, para correlacional con el comportamiento de ingeniería como comprensibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción, hinchazón y resistencia al corte.

Para este ensayo, se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Espátula, de hoja flexible, entre 75 a 100 milímetros de longitud y 20 milímetros de ancho.
- Aparato del límite líquido, más conocido como copa de Casagrande, es un aparato de operación manual que consiste en una taza de bronce con sus aditamentos (Ver figura 13)
- Acanalador.
- Calibrador.
- Recipientes de almacenaje.
- Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- Horno termostáticamente controlado.
- Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- Agua destilada.

- Recipientes que sean resistentes al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo.

Para el límite líquido, se procedió a colocar una parte del suelo preparado, en la copa de casagrande, en el punto en que la copa reposa sobre la base, haciendo presión y distribuyendo en la copa hasta una profundidad aproximada de 10mm en el punto más profundo, formando una superficie horizontal, teniendo el cuidado para no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta, también se tuvo en cuenta la calibración de la altura de caída de la copa a 1 cm. Luego, se pasó el acanalador para seccionar la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Posteriormente, se puso en movimiento el aparato de límite líquido, levantando y soltando la copa girando el manubrio a una velocidad de 2 golpes por segundo hasta que secciones del suelo entraron en contacto con la base de la ranura una longitud de ½ pulgada, cuando se dio el cierre, se registró la cantidad de golpes. Finalmente, se tomó una parte del suelo de aproximadamente el ancho de la espátula, para colocarlo en un recipiente apropiado de peso conocido y se llevó al horno por 24 horas para posteriormente determinar su contenido de humedad.

Con respecto a los cálculos, se obtuvo el valor del límite líquido mediante la siguiente fórmula de Lambe:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121}$$

Donde:

N = Número de golpes necesarios para la cerrar la ranura para contenido de humedad.

W^n = Contenido de humedad de la muestra.

Para el límite plástico, se trabajó con el material preparado para el límite líquido, se procedió a amasar el suelo y moldear en forma elipsoide, y, después se rodaron con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, para así poder formar los cilindros, los mismos que se adelgazaron hasta llegar a un diámetro de aproximado de 3.2 mm (1/8 pulg), la prueba continuó hasta que el cilindro empezó a rajarse y a desmoronarse. Una vez dado este agrietamiento en el cilindro, se procedió a colocarlo en un recipiente adecuado de peso conocido, se registró el peso del cilindro agrietado y el recipiente y fue llevado al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas. Seguidamente, se volvió a repetir lo mencionado con otra porción de muestra.

Con respecto a los cálculos, se obtuvo el valor del límite plástico, calculando el promedio de las humedades de las dos determinaciones. Esto debe ser expresado como porcentaje de humedad, y se obtiene mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Con respecto al índice de plasticidad, este se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$\text{Índice de Plasticidad} = LL - LP$$

Figura 13*Copa de casagrande*

Nota. Elaboración propia

2.5.4. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Se estableció el método empleado teniendo en cuenta la distribución granulométrica. Los equipos y materiales a utilizar fueron los siguientes:

- Molde de 6 pulgadas que en promedio tenga $152,4 \pm 0,7$ mm ($6,000 \pm 0,026$ "") de diámetro interior, con una altura de: $116,4 \pm 0,5$ mm ($4,584 \pm 0,018$ "") y un volumen de $2\,124 \pm 25$ centímetros cúbicos ($0,075 \pm 0,0009$ pies cúbicos).
- Pisón o martillo con 18 pulg de caída libre.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado con control termostático con la capacidad de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.

- Una regla recta metálica, rígida de una longitud no menor a 10 pulgadas. La longitud total de la regla recta debe alinearse directamente a una tolerancia de más o menos 0,1 milímetro o 0,005 pulgadas. El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 milímetros o 1/8 de pulgada.
- Tamices de 3/4", 3/8" y N°4.
- Herramientas de Mezcla.

Se seleccionó la muestra en peso de 6000 gr, después se le agregó agua y se mezcló uniformemente, hasta que el material pudo ser apretado con la mano y posteriormente se pudo tomar con los dedos sin que se desmorone. Luego, se registró el peso del molde y se armó para realizar la compactación, se colocó la base y sobre ella se colocó la extensión, el interior del molde fue engrasado para evitar que el material se pegue en las paredes interiores del mismo. Una vez culminado este procedimiento, se pasó a colocar la primera capa en el molde y se le aplicó 56 golpes a caída libre en toda el área aplicándolos en una relación uniforme de aproximadamente de 25 golpes por minuto, para que así dote de una cobertura completa y uniforme de la superficie de la muestra, de igual manera completar las cuatro capas restantes, teniendo en cuenta que la última capa debió quedar en el collarín de tal forma que pueda enrasarse. Posteriormente, se enrasó el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín, después se retiró la base y se registró el peso del suelo compactado más el molde. Luego, se extrajo el suelo y se tomó una muestra de la parte central del molde y se llevó al horno para determinar el contenido de humedad. Se repitió el procedimiento para el resto de puntos. Una vez

determinado el contenido de humedad de cada muestra, se calculó la densidad húmeda y la densidad seca.

$$\rho_m = 1000x \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

- ρ_m = Densidad húmeda de la muestra compactada (Mg/m³)
- M_t = Masa de la muestra húmeda compactada y el molde (kg)
- M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)
- V = Volumen del molde de compactación (m³)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

- ρ_d = Densidad seca de la muestra compactada (Mg/m³)
- w = Contenido del agua (%)

Finalmente, se graficó la curva de compactación utilizando los resultados del contenido de humedad y de la densidad seca. De esta forma, se determinó la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

Figura 14

Compactación de la muestra - Proctor Modificado



Nota. Elaboración propia

2.5.5. CBR de suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

De acuerdo con el manual de ensayos (MTC, 2016) a través de este método de ensayo se puede analizar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluidos los materiales reciclados utilizados para la pavimentación de caminos y plataformas de aterrizaje. Los valores de CBR obtenidos en esta prueba son parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Los equipos y materiales empleados para este ensayo fueron los siguientes:

- Prensa similar a la que se usa en el ensayo de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en la muestra. El pistón se aloja en el cabezal. El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder ajustar a una velocidad uniforme de 1,27 milímetros o 0,05 pulgadas por minuto. La capacidad de la

prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44,5 kN o 10000 lbf o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N o 10 lbf o menos.

- Molde cilíndrico de metal, con diámetro de $152,4\text{mm} \pm 0,66\text{ mm}$ o $6 \pm 0,026''$ y con una altura de $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$ o $7 \pm 0,018''$. Debe tener un collarín metálico de 50,8 mm o 2" de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm o 3/8" de espesor. Las perforaciones de la base no deberán pasar de de 1,60 mm o 28 1/16", estas deberán estar separadas de manera uniforme en la circunferencia interior del molde de diámetro. La base podrá ajustarse a cualquier extremo del molde.
- Disco circular espaciador metálico con diámetro exterior de 150,8 mm o 5 15/16" y con un espesor de $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$ o $2,416 \pm 0,005''$, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pisón de compactación.
- Un aparato medidor de expansión conformado por:
 - ✓ Una placa metálica perforada, por cada molde, con un diámetro de 149,20 mm o 5 7/8", el diámetro de sus perforaciones no deberá exceder los 1,6 mm o 1/16". Estará abastecido de un vástago en el centro con un sistema de tornillo con el que se pueda regular su altura.
 - ✓ Un trípode con patas para poder apoyarlo en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, permitiendo así el control de la posición de éste y se pueda medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm o 0,001".
- Uno o dos pesas metálicas anulares que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02\text{kg}$ y pesas metálicas ranuradas cada una con masas de $2,27 \pm 0,02\text{ kg}$. Las pesas

anular y ranurada deberán tener 5 7/8” a 5 15/16” (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8” aproximado (53,98 mm) de diámetro.

- Pistón metálico de penetración, de sección transversal circular, con diámetro de $49,63 \pm 0,13$ mm o $1,954 \pm 0,005$ ” y con área de 19,35 cm² o 3 pulg² y con longitud imprescindible para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas.
- Dos diales con un recorrido mínimo de 25 milímetros o una pulgada y divisiones lecturas en 0,025 mm o 0,001”, uno de ellos deberá contar con una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para poder medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, para la saturación de los moldes en agua.
- Horno con capacidad de temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Balanzas, una de 20 kg y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.
- Tamices N°4, 3/4” y 2”.
- Varios con uso general, tales como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

Las muestras para la compactación se prepararon de acuerdo a los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 o NTP 339.142 para la compactación de un molde de 6” a excepción de lo siguiente:

Toda la graduación se tendrá que usar para preparar las muestras a compactar sin alguna modificación, siempre y cuando el material pase el tamiz de 3/4”. Si existe

material retenido en el tamiz de $\frac{3}{4}$ "", este material deberá retirarse reemplazarse con la misma cantidad de material que pasa a través de la malla de $\frac{3}{4}$ " y permanezca en el tamiz N°4.

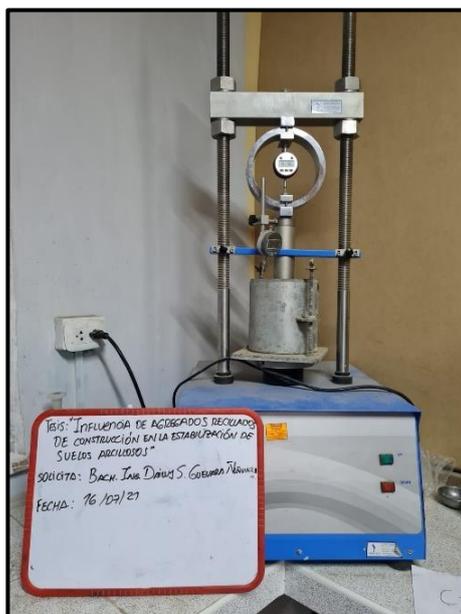
Previamente, se realizó el ensayo de Proctor modificado, se calculó la cantidad suficiente para moldear tres muestras. Los moldes se compactaron con el óptimo contenido de humedad obtenido con el ensayo de Proctor modificado. Se prepararon tres moldes de CBR y se colocaron a las placas base, para esto, se colocó un disco espaciador sobre la placa de la base de cada molde. Después, se procedió a realizar la compactación de cada molde con energía diferente de compactación, esta energía de compactación se controló con el número de golpes que fueron 55, 26 y 12 golpes por cada capa respectivamente. Luego de la compactación, se enrasó y se retiró de la placa de base, se giró el molde de modo que la parte superior quedó abajo y se retiró el disco espaciador para que quedase un espacio para colocar la sobrecarga. Posteriormente, se fijó de nuevo a la placa de base, después de esto la muestra estuvo preparada para la etapa de saturación. Se colocó un papel filtro encima de la parte superior del espécimen para después ubicar la placa perforada con vástago ajustable y encima de esta, colocar las pesas de sobrecarga.

El trípode con el cuadrante medidor de deformaciones se colocó sobre el canto del molde y se ajustó al vástago de la placa perforada. Se registró la lectura y se quitó el trípode. Luego, se sumergió el molde en un recipiente con agua y se dejó saturar durante cuatro días, para esto se colocó el soporte de trípode sobre la muestra todos los días y se tomó nota la lectura de la expansión.

Pasados los cuatro días, se retiró el molde y se dejó drenar durante 15 minutos aproximadamente. Se procedió a quitar las pesas, la placa perforada y el papel filtro. Se colocaron nuevamente las pesas de sobrecarga y se preparó para la etapa de penetración. Después, se colocó el molde sobre el soporte de carga de la prensa y se ajustó de forma que el pistón quede ubicado en el centro con la muestra. Se colocó en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación. La velocidad de penetración del pistón en el suelo es de 0.05 de pulgada por minuto, esta velocidad se controló por tiempo con el cronómetro. Se registraron las lecturas de la presión a distintas pulgadas de penetración. Finalmente, se retiraron las sobrecargas, se desarmó el molde y se tomó de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su contenido de humedad.

Figura 15

Prensa para ensayo de compresión



Nota. Elaboración Propia

Aspectos Éticos

La presente investigación se llevó a cabo de acuerdo a los siguientes principios: respeto a las personas, no maleficencia, búsqueda del bien y justicia. Esto con el propósito de lograr reducir los daños o errores y por otra parte maximizar los beneficios, además de tratar a cada persona de acuerdo con lo que es moralmente correcto y apropiado y dar a cada persona lo que le corresponde.

Si bien es cierto, se tomó en cuenta la información de otros autores, esto se hizo debidamente acreditado mediante el uso de citas y referencias, dándoles el crédito justo y correspondiente. De esta manera, los lectores o demás investigadores podrán tener acceso a las fuentes recurridas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización de propiedades mecánicas del suelo natural

3.1.1. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (ASTM D422) (MTC E107)

Tabla 6
Resultados promedio de ensayo de granulometría

TAMAÑO MÁXIMO		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
Peso inicial	P.I.=	4000
Peso muestra lavada	P.L.=	3894.36
Peso perdido	P.P.=	105.64
% humedad	%W=	13.9
LIMITES DE CONSISTENCIA (*)		
	L.L.=	27.25
Limite liquido	L.P.=	16.31
	I.P.=	10.94
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS (**)		
% Que pasan	N°200	12.88%
	N°04	60.83%
CLASIFICACIÓN:		
I.G.=		
SUCS: SC		
ASSTHO: A-2-6(0)		
OBSERVACIONES:		
39.175% de gravas – 60.825% de finos		

Nota. Elaboración Propia

(*) Obtenido de contenido de humedad ASTM – D – 2216 – E 108 (promedio de 3 calicatas anexos 3,4,5)

(**) Obtenido de análisis granulométrico por tamizado, ASTM D422 (Promedio de 3 calicatas anexo 3,4,5)

En la Tabla 6, se puede observar el análisis granulométrico promedio de suelos por tamizado, donde se plasmaron los porcentajes que pasan por los tamices N°200 y N°04, así como también el porcentaje de gravas y finos. Teniendo también la clasificación SUCS y AASHTO del suelo natural.

3.1.2. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)

Tabla 7

Ensayo de Límites de Atterberg

Calicata	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Anexo
1	26.4	16.19	10.22	3
2	27.63	15.15	12.48	4
3	27.71	17.58	10.13	5
Promedio	27.25	16.31	10.94	

Nota. Elaboración Propia

En la Tabla 7, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras del suelo natural.

3.1.3. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Tabla 8

Resultados de Ensayos de Proctor Modificado

Calicata	Proctor Modificado	
	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	Humedad optima %
1	1.88	8.43
2	1.87	8.15
3	1.85	8.51
Promedio	1.87	8.36

Nota. Elaboración Propia

En la Tabla 8, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los ensayos de Proctor modificado de las muestras del suelo natural, teniendo finalmente el promedio de los realizados.

3.1.4. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

Tabla 9

Ensayo CBR ASTM D1883

Calicata	CBR AL 100 de M.D.S. (%)	CBR AL 95 de M.D.S. (%)
1	45	35
2	47	38
3	42	33
Promedio	45	35

Nota. Elaboración Propia

En la Tabla 9, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los resultados obtenidos de los ensayos CBR aplicados a cada muestra del suelo natural.

3.2. Caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante

3.2.1. Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)

Tabla 10

Resultado de Límites de Atterberg de material con adición de estabilizante

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	ANEXO
Suelo Natural + 2.5% RCD	23.81	15.98	7.83	Anexo 6
Suelo Natural + 5.0% RCD	23.15	16.12	7.03	Anexo 7
Suelo Natural + 7.5% RCD	23.22	16.21	7.01	Anexo 8

Nota. Elaboración Propia

En la Tabla 10, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras del suelo natural con los porcentajes de adición de estabilizante.

3.2.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Tabla 11

Resultado de Proctor Modificado de material con adición de estabilizante

Muestra	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	Humedad Óptima (%)	ANEXO
Suelo Natural + 2.5% RCD	1.95	7.9	Anexo 6
Suelo Natural + 5% RCD	1.98	9.1	Anexo 7
Suelo Natural + 7.5% RCD	1.93	8.7	Anexo 8

Nota. Elaboración Propia

En la Tabla 11, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los ensayos de Proctor modificado de las muestras del suelo natural con los porcentajes de adición de estabilizante, teniendo finalmente el promedio de los realizados.

3.2.3. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

Tabla 12

Resultado de CBR de material con adición de estabilizante

Muestra	CBR AL 100 de M.D.S. (%)	CBR AL 95 de M.D.S. (%)	ANEXO
Suelo Natural + 2.5% RCD	51	39	Anexo 6
Suelo Natural + 5% RCD	58	43	Anexo 7

Nota. Elaboración Propia

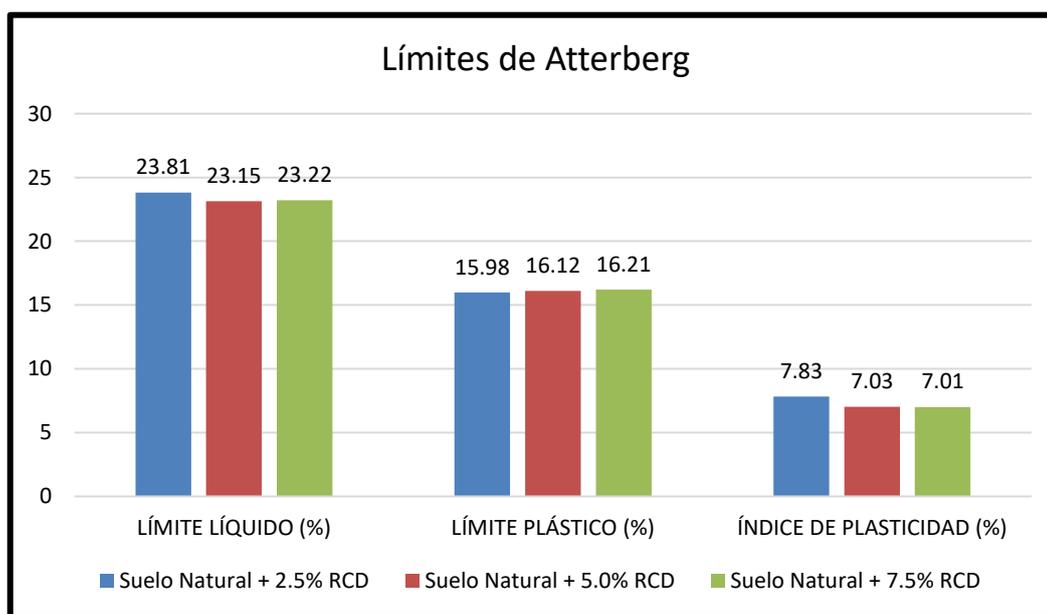
En la Tabla 12, se puede observar el consolidado de los resultados con respecto a los resultados obtenidos de los ensayos CBR (Valor relativo de soporte) aplicados a cada muestra del suelo natural con los porcentajes de adición del estabilizante.

3.3. Determinar el porcentaje adecuado de agregado reciclado de construcción para la estabilización del suelo.

3.3.1. Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)

Figura 16

Límites de Atterberg según porcentajes de adición



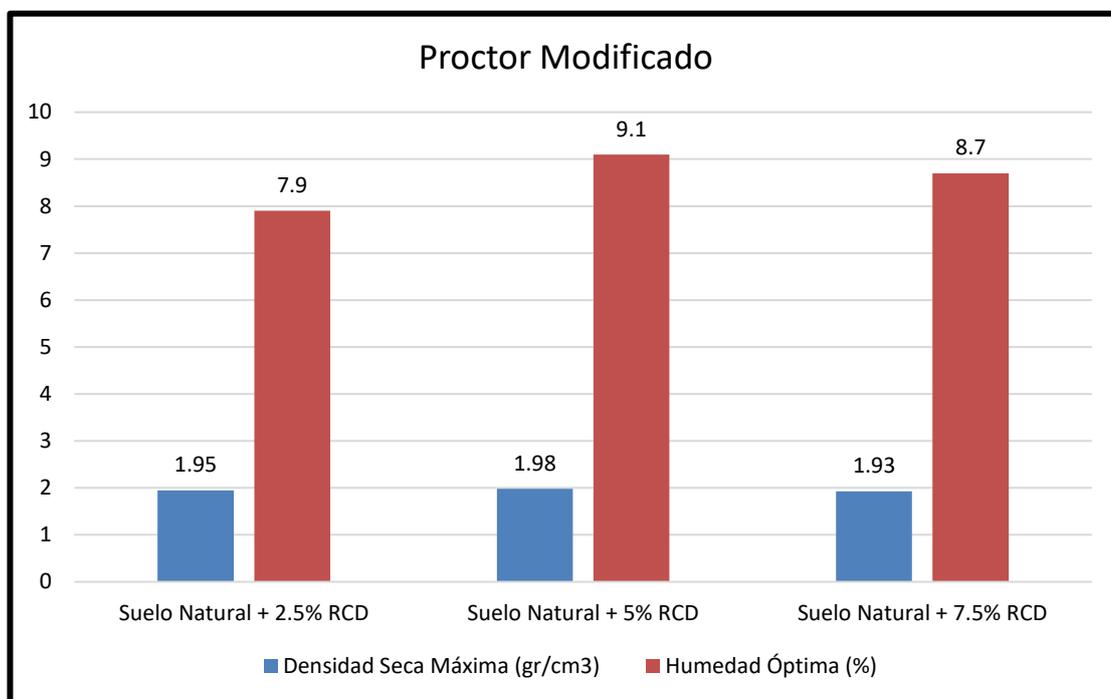
Nota. Elaboración Propia

En la figura 16, se puede observar un gráfico de barras donde se puede evidenciar la comparación de los resultados de límites de atterberg por cada porcentaje de adición.

3.3.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Figura 17

Proctor Modificado según porcentajes de adición



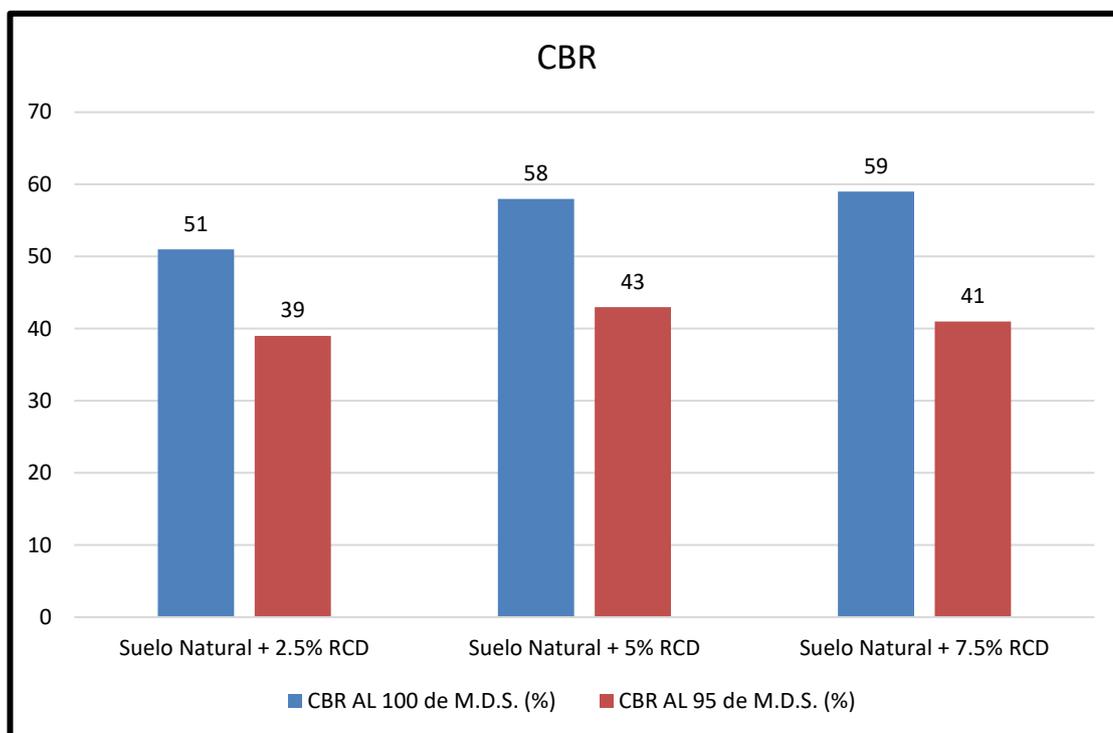
Nota. Elaboración Propia

En la figura 17, se puede observar un gráfico de barras donde se evidencia la comparación de los resultados del ensayo de Proctor Modificado por cada porcentaje de adición.

3.3.3. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

Figura 18

Valor Relativo de Soporte (CBR) según porcentajes de adición



Nota. Elaboración Propia

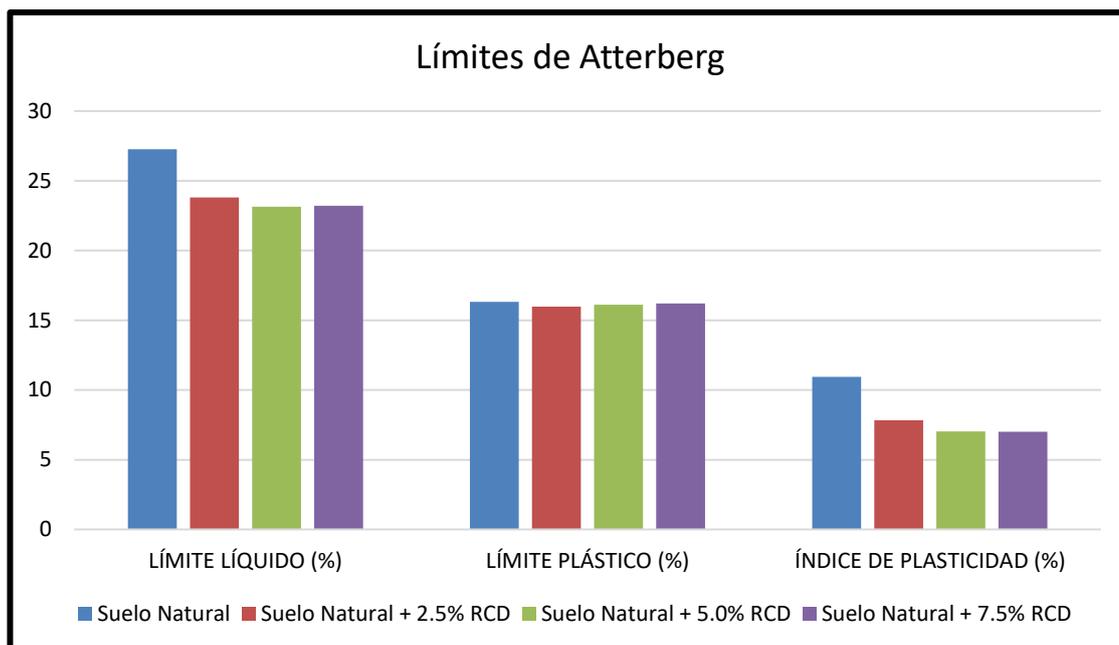
En la figura 18, se puede observar un gráfico de barras donde se evidencia la comparación de los resultados del ensayo de CBR por cada porcentaje de adición.

3.4. Comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizantes

3.4.1. Límites de Atterberg (ASTM D318) (MTC E110)

Figura 19

Límites de Atterberg de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición



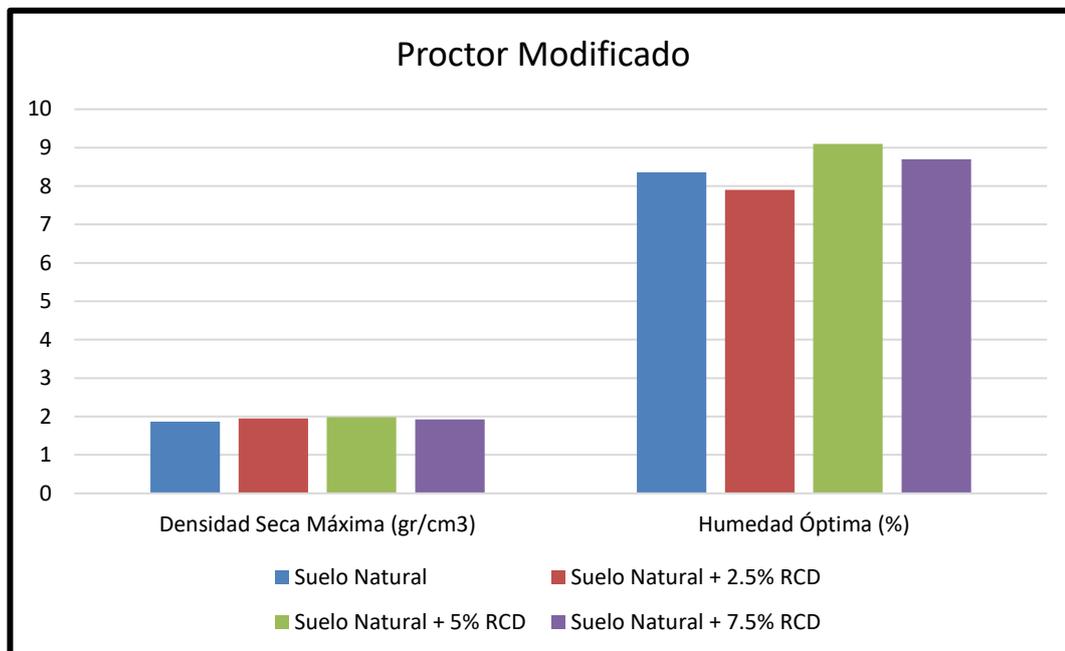
Nota. Elaboración Propia

En la figura 19, se puede observar un gráfico de barras comparativo donde se evidencia el efecto que tiene cada porcentaje de adición de estabilizante en el suelo en los resultados del suelo natural.

3.4.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Figura 20

Proctor Modificado de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición



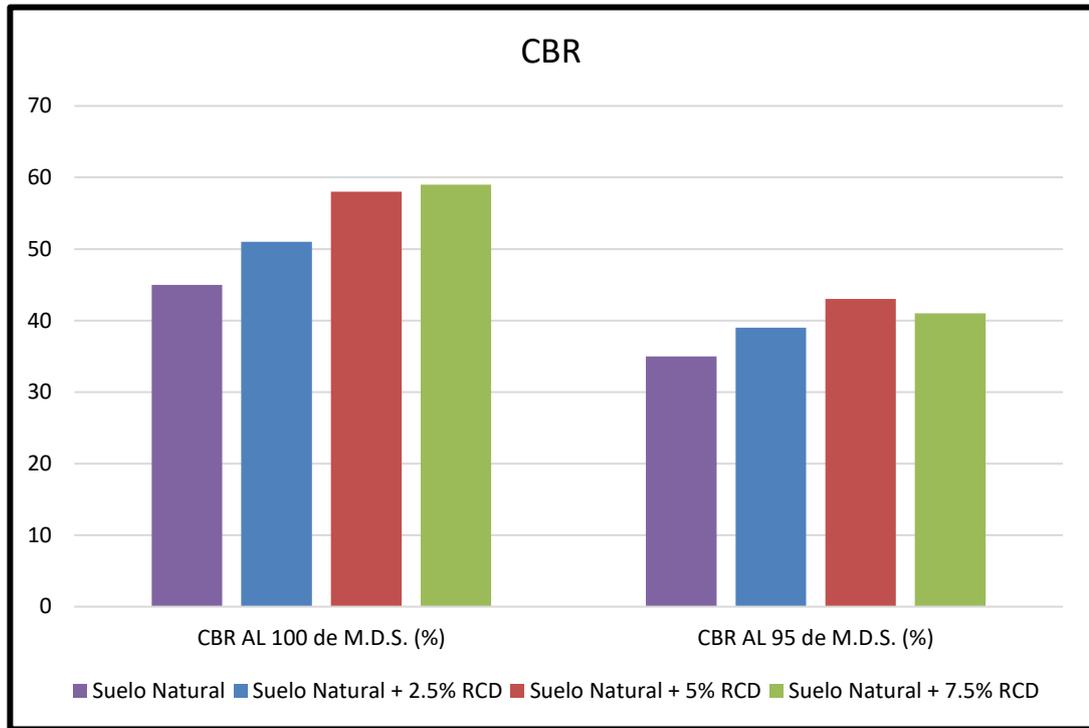
Nota. Elaboración Propia

En la figura 20, se puede observar un gráfico de barras comparativo donde se evidencia el efecto que tiene cada porcentaje de adición de estabilizante en el suelo en los resultados del suelo natural, con respecto a los resultados de los ensayos de Proctor modificado.

3.4.3. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

Figura 21

Valor relativo de soporte (CBR) de suelo natural vs suelo natural más porcentajes de adición



Nota. Elaboración Propia

En la figura 21, se puede observar un gráfico de barras comparativo donde se evidencia el efecto que tiene cada porcentaje de adición de estabilizante en el suelo en los resultados del suelo natural, con respecto a los resultados de los ensayos de CBR.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Determinar las características mecánicas del suelo natural

4.1.1.1. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (ASTM D422) (MTC E107)

En la Tabla 6, se muestran los resultados promedio de las muestras del suelo natural, extraídas de un total de 3 calicatas. Así mismo, se pudo apreciar que los resultados del laboratorio arrojan resultados similares para las 3 calicatas siendo su clasificación SUCS “SC” Arena Arcillosa y considerando la clasificación AASHTO, se clasificó como un suelo A-2-6 (0). También se puede observar que, el porcentaje de gravas es menor con un porcentaje del 39.175% en comparación al porcentaje de finos con un porcentaje del 60.825%.

4.1.1.2. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)

En la Tabla 7, se observan los resultados de límite líquido, teniendo una variación entre el 26.41 a 27.71, siendo el valor mayor 27.71 para la C3, y el menor valor con 26.41, lo obtiene la C1. Con respecto al límite plástico, se presenta un intervalo de valores entre 15 y 18, correspondiendo el mayor valor a la C3 con 17.58; mientras que, el menor valor le corresponde a la C2 con 15.15. El índice de plasticidad presenta un rango entre 10 y 13, teniendo el menor valor la C3 con 10.13 y se lleva el mayor valor la C2 con 12.48, considerándose así, suelos de mediana plasticidad.

4.1.1.3. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Para la ejecución de este ensayo, se siguió lo mencionado en el Manual de Ensayo de Materiales (MTC, 2016). Tomando en cuenta la granulometría del suelo, cumpliendo con el método C, al tener más del 20% en peso de la muestra retenida en el

tamiz N°3/8” y menos del 30% en peso de la muestra retenida en el tamiz N°3/4”. En la Tabla 8, se observan los resultados con respecto a cada calicata, teniendo para la C1 una densidad máxima seca de 1.88 gr/cm³ con una humedad óptima del 8.43%, para la C2 una densidad máxima seca de 1.87 gr/cm³ con una humedad óptima del 8.15%, para la C3, una densidad máxima seca de 1.85 gr/cm³ con una humedad óptima del 8.51%. Teniendo finalmente, una densidad promedio seca de 1.87 gr/cm³ y una humedad óptima promedio de 8.36%.

4.1.1.4.CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

El CBR de suelos se emplea para evaluar la capacidad de resistencia o soporte potencial de subrasantes, subbases y bases usados en infraestructura vial según el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016). En la Tabla 9, se puede apreciar que el mayor valor de CBR es de 38% correspondiente a la C2, siendo considerada no apta para una capa subbase, ya que el Manual de Carreteras Sección Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014) requiere un CBR mínimo de 40% para un material de subbase.

4.1.2. Caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante

4.1.2.1.Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)

En la Tabla 10, se observan los resultados de límite líquido, teniendo una variación entre 23 y 24, teniendo para el suelo natural más 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 23.81%, para el suelo natural más 5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 23.15% y para suelo natural más 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 23.22%. Con respecto al límite plástico, se presenta un intervalo de valores entre 15 y 17, teniendo para el suelo natural más 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un

valor de 15.98%, para el suelo natural más 5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 16.12% y para suelo natural más 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 16.21%. El índice de plasticidad presenta un rango entre 7 y 8, teniendo para el suelo natural más 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 7.83%, para el suelo natural más 5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 7.03% y para suelo natural más 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida, un valor de 7.01%.

4.1.2.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

Para la ejecución de este ensayo, se siguió lo mencionado en el Manual de Ensayo de Materiales (MTC, 2016). Tomando en cuenta la granulometría del suelo, cumpliendo con el método C, al tener más del 20% en peso de la muestra retenida en el tamiz N°3/8” y menos del 30% en peso de la muestra retenida en el tamiz N°3/4”. En la Tabla 11, se observan los resultados con respecto a cada adición de porcentaje de estabilizante, teniendo para el suelo natural más 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, una densidad máxima seca de 1.95 gr/cm³ con una humedad óptima del 7.9%, para el suelo natural más 5% de agregados reciclados de construcción demolida, una densidad máxima seca de 1.98 gr/cm³ con una humedad óptima del 9.1%, para el suelo natural más 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida, una densidad máxima seca de 1.93 gr/cm³ con una humedad óptima del 8.7%.

4.1.2.3. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

El CBR de suelos se emplea para evaluar la capacidad de resistencia o soporte potencial de subrasantes, subbases y bases usados en infraestructura vial según el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016). En la Tabla 12, se puede apreciar que para una

adición del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, al suelo natural, se obtiene un CBR de 39%. Para el suelo natural más 5% de agregados reciclados de construcción demolida, se obtiene un CBR de 43% y para el suelo natural más el 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida, se obtiene un CBR de 41%.

4.1.3. Determinar el porcentaje adecuado de agregado reciclado de construcción para la estabilización del suelo.

4.1.3.1.Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)

En la Figura 16, se puede observar en el porcentaje de adición del 5% sería un porcentaje adecuado para obtener límites de consistencia óptimos, teniendo para el límite líquido un valor de 23.15%. Con respecto al límite plástico, se tiene un valor 16.12% y el índice de plasticidad concibiéndose en 7.03%.

4.1.3.2.Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

En la Figura 17, se puede observar en el porcentaje de adición del 5% sería un porcentaje adecuado para obtener una densidad seca máxima mayor, teniendo para este un valor de 1.98 gr/cm³; mientras que, para la adición del 2.5% se pudo obtener un porcentaje de humedad óptima del 7.9%.

4.1.3.3.CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

En la Figura 18, se puede observar que el porcentaje de adición del 5% proporciona un valor de CBR considerable para una capa de subbase según el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, teniendo un valor de 43% cumpliendo este con el mínimo que corresponde al 40%.

4.1.4. Comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizantes

4.1.4.1. Límites de Atterberg (ASTM D4318) (MTC E110)

En la Figura 19, se observan los resultados de límite líquido, teniendo para el suelo natural un límite líquido de 27.25%; mientras que, al aplicar al suelo natural un porcentaje del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 23.81%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 23.15%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 23.22%. Con respecto al límite plástico, se tiene para el suelo natural un límite plástico de 16.31%; mientras que, al aplicar al suelo natural un porcentaje del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 15.98%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 16.12%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 16.21%. Con respecto al índice de plasticidad, se tiene para el suelo natural un índice de plasticidad de 10.94%; mientras que, al aplicar al suelo natural un porcentaje del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 7.83%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 7.03%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un valor de 7.01%. Al comparar estos resultados por cada porcentaje de adición con respecto al efecto que tienen en el suelo natural, se puede decir que cada porcentaje de adición influye en la disminución de los límites de consistencia de la muestra estudiada.

4.1.4.2. Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557) (MTC E115)

En la Figura 20, se observan los resultados del ensayo de Proctor modificado para el suelo natural y para el suelo natural con adiciones de porcentaje de estabilizante; teniendo para el suelo natural una densidad máxima seca de 1.87 gr/cm³ y una humedad óptima de 8.36%; mientras que, al aplicar al suelo natural un porcentaje del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo una densidad máxima seca de 1.95 gr/cm³ y una humedad óptima de 7.91%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo una densidad máxima seca de 1.98 gr/cm³ y una humedad óptima de 9.10%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 7.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo una densidad máxima seca de 1.93 gr/cm³ y una humedad óptima de 8.71%. Al comparar estos resultados por cada porcentaje de adición con respecto al efecto que tienen en el suelo natural, se puede decir que cada porcentaje de adición influye en el aumento de la densidad máxima seca y optimiza la humedad.

4.1.4.3. CBR de Suelos (ASTM D1883) (MTC E132)

En la Figura 21, se observan los resultados del ensayo de relación de soporte (CBR) para el suelo natural y para el suelo natural con adiciones de porcentaje de estabilizante; teniendo para el suelo natural un CBR al 100% MDS de 45% y un CBR al 95% MDS de 35%; mientras que, al aplicar al suelo natural un porcentaje del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un CBR al 100% MDS de 51% y un CBR al 95% MDS de 39%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 5% de agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un CBR al 100% MDS de 58% y un CBR al 95% MDS de 43%; al aplicar al suelo natural un porcentaje del 7.5% de

agregados reciclados de construcción demolida se obtuvo un CBR al 100% MDS de 59% y un CBR al 95% MDS de 41%. Al comparar estos resultados por cada porcentaje de adición con respecto al efecto que tienen en el suelo natural, se puede decir que cada porcentaje de adición influye en el aumento de la capacidad de soporte portante CBR del suelo natural.

Los resultados de la presente investigación tuvieron logros significativos en cuanto a la reducción de índice de plasticidad, y un logro en densidad máxima seca, su potencial de uso en caminos converge con los hallados por Acosta (2019), el mismo que concuerda con el potencial de utilización en pavimentos, pues los costos y daño ambiental de la explotación de arena y playas, el costo de triturar y preparar el material, el impacto de explotación de canteras hace viable los residuos de demolición, sin embargo es necesario la organización y la producción industrial.

Los resultados expuestos son paralelos a los hallados por Becerra y Gómez (2019), su investigación fue aplicada en suelos totalmente arcillosos. En el caso del antecedente, consideró los residuos de hormigón, cuyo componente de cemento contribuye a las propiedades químicas de la arcilla, pudiendo tener no solo porcentajes de RDC, sino una caracterización de estos tanto granulométrica (arenas de ladrillo y hormigón) como químicamente (por los componentes de cemento) resultados que se pueden lograr cuando hay un sistema de clasificación y reciclaje y es posible hacer esto. Pero; sin lugar a duda, inclusive en los caminos rurales permite mantener una calidad de carreteras sin impacto ambiental (como sería el concreto, el asfalto) lo cual es de especial utilidad para comunidades rurales y zonas con muy poca densidad y tránsito.

Los resultados obtenidos se refuerzan con los hallados por García (2014), quien cuenta la experiencia en Alemania, el mismo que tiene el respaldo del gobierno, su normativa e incentivos, sobre todo para las metas ambientales de conservación de recursos e impacto, por otro lado, crear nuevos agregados consume más energía y por tanto tiene más huella de carbono. En este sentido, tenemos además de cumple su función estabilizadora, reduce el consumo de energía para la producción de agregados estabilizantes, reduce la explotación de canteras, tiene impacto ambiental beneficioso, pues contribuye a la valoración de los residuos sólidos de demolición, como señala García en Alemania. Al igual que el antecedente, las ciudades no son estáticas, todas migran hacia una mayor densidad y valor, lo que obliga a una tasa constante de demolición, lo que genera un sector económico que en los países desarrollados lo tienen ya bien implementado y que es necesario implementar en los países en desarrollo como el Perú.

Nuestros resultados se alinean a los resultados nacionales de Alburqueque y Flores (2021), quien idónea y oportunamente aplicó los residuos de demolición en la estabilización de la calle Amazonas en Sullana, encontrando resultados positivos. Por otro lado, estudios como estos fuera de laboratorio y en un escenario real como es una calle transitada, contribuye mucho y son estudios para hacer seguimiento, generando un precedente importante más allá de laboratorio.

Asimismo, los resultados convergen con los hallados a nivel nacional por Alburqueque y Flores (2021), el cual demostró que era viable en una calle mejorar las condiciones del suelo en un municipio humilde como Sullana, el mismo que demuestra que si la ley fuera más coercitiva y diseñada para ser eficaz, muchos municipios podrían

mejorar sus pistas con los residuos de otras ciudades grandes más centrales, aspecto justificable porque estos municipios pequeños no tienen abundante tránsito y para los cuales los RCD cumplen con sus necesidades de estabilización para sus cargas en el mediano plazo.

Los resultados obtenidos, se alinean a la investigación de Ochoa (2019), quien propone una solución sustentable para la destinación de los residuos de concreto, a través de su reutilización en el mejoramiento de pavimentos, realizando ensayos de caracterización, compactación e índice de soporte CBR, con variaciones en la asignación de porcentajes de agregados de residuos de construcción demolidos, teniendo así un aumento en el CBR cumpliendo con los requisitos normativos para su material. Por ende, se puede afirmar que el uso de agregados reciclados de construcción como agente estabilizante da resultados positivos.

Limitaciones

La principal limitación fue el COVID – 19, esta pandemia mundial me limitó poder realizar mis ensayos en la comodidad del laboratorio de mi alma máter, Universidad Privada del Norte, conllevándome a buscar otros laboratorios disponibles para poder continuar con la investigación, teniendo así la disposición del laboratorio limitante ya que se debía esperar a la confirmación del encargado del mismo.

Otra limitante fue haberme contagiado de COVID – 19, esto me llevó a pausar mi investigación, ya que tuve que permanecer aislada y en recuperación por un tiempo sin poder salir a campo y obtener mayor información.

Por motivos de trabajo, me limité a poder avanzar a tiempo completo mi investigación, al tener horarios estrictos de trabajo y tener que cumplir con las responsabilidades encargadas a mi persona.

Implicancias

A raíz de los resultados obtenidos, me implicó tener que buscar información de otras investigaciones para poder tener una guía de resultados y compararlos.

A partir de la obtención de los resultados, me implicó buscar información y empaparme de las distintas normas ASTM, NTP y del MTC.

A partir de mis resultados, tuve que indagar en otras investigaciones para tener precedente de las metodologías empleadas.

4.2. Conclusiones

- Se determinaron las propiedades físico mecánicas del suelo de la vía Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco este tiene una clasificación SUCS “SC” y AASHTO A-2-6 (0), con un índice de plasticidad de 10.94, con una máxima densidad seca de 1.87 gr/cm³, con un contenido de humedad óptima de 8.36% y con un valor de capacidad portante soporte CBR de 35%.
- Se determinó la caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante, siendo las siguientes para suelo natural con adición del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.83$, $MDS = 1.95$ gr/cm³ $OH = 7.9\%$ y $CBR = 39\%$); para suelo natural con adición del 5% de agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.03$, $MDS = 1.98$ gr/cm³ $OH = 9.1\%$ y $CBR = 43\%$) y para suelo natural con adición del 7% de

agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.01$, $MDS = 1.93$ gr/cm³ OH = 8.7% y CBR = 41%)

- Se determinó la caracterización del material con los porcentajes de adición de estabilizante, siendo las siguientes para suelo natural con adición del 2.5% de agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.83$, $MDS = 1.95$ gr/cm³ OH = 7.9% y CBR = 39%); para suelo natural con adición del 5% de agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.03$, $MDS = 1.98$ gr/cm³ OH = 9.1% y CBR = 43%) y para suelo natural con adición del 7% de agregados reciclados de construcción demolida, se tiene: $I_p = 7.01$, $MDS = 1.93$ gr/cm³ OH = 8.7% y CBR = 41%)
- Se determinó como porcentaje idóneo al suelo natural con adición del 5% de agregados reciclados de construcción demolida, aunque el porcentaje de 7.5% es más idóneo, su diferencia con el de 5.0% es mínima, sobre todo porque con el porcentaje de 5% se obtiene la optimización en la capacidad portante CBR.
- Se lograron comparar los efectos de los diferentes porcentajes de estabilizante con respecto a la muestra de suelo natural de la vía Panubamba – San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, reduciendo en 35.74% el índice de plasticidad de 10.94% a 7.03%. Respecto a la máxima densidad seca, esta se incrementó de 1.87 gr/cm³ a 1.98 gr/cm³, la humedad óptima se incrementó de 8.38% a 9.11%. Con respecto a la capacidad portante soporte CBR se incrementó de 35% a 43%, ubicándola con este valor en el rango adecuado para conformar la capa de subbase, según MTC siendo el valor mínimo aceptable el de 40%. El análisis del efecto de los

diferentes porcentajes de estabilizante es positivo, el bajo porcentaje se debe a que se trata de un suelo que presenta arenas y arcillas.

REFERENCIAS

- Acosta RH. (2019). Caracterización básica de residuos de construcción y demolición (RCD'S) y su potencial utilización en una estructura de pavimento [Tesis de Especialidad, Universidad Militar Nueva Granada].
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32751>
- AEC. (2020). Asociación Española de la Carretera. Asociación Española de la Carretera.
<https://www.aecarretera.com/>
- Alburqueque KA, & Flores YD. (2021). Estabilización de la subrasante incorporando piedra over y material de demolición de estructuras de concreto, Calle Amazonas, C.P Mallaritos, Sullana, 2021 [Tesis Titulación, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66629>
- Becerra PG, & Gómez LF. (2019). Estudio del comportamiento en las arcillas típicas de Bogotá estabilizadas con residuos de construcción y demolición (RCD) [Tesis de Especialidad, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería].
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24070>
- Bizarreta, J., Averos, R., Ochoa, S., & Bizarreta, J. C. (2021). Estudio experimental sobre la estabilización de suelo de subrasante blando con residuo de concreto fino. ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M, 1, 1044–1052.
<https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9530>
- Borselli, L. (2021 - 2022). GEOTECNIA I. https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Braja M., Das. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cengage Learning Latin.

- Cabrera F, Gómez JM, Almaral J, Arredondo S, Gómez MC, & Mendivil J. (2017). Propiedades en estado fresco de morteros con árido reciclado de hormigón y efecto de la relación c/a. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 35(1).
- Cantor BE, & Mateus NY. (2017). Modelos implementados en el manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición en Latinoamérica. (Estado del arte) [Tesis Titulación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica].
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6890>
- Cerreño, P. (2016). Estabilización de suelos con agregados reciclados – *Revista Vial*. Vial.
<https://revistavial.com/estabilizacion-de-suelos-con-agregados-reciclados/>
- Chica LM, & Beltrán JM. (2018). Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. *Revista DYNA*, 85(206), 338–347.
- Fatta D, Papadopoulos A, Avramikos E, & Sg E. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece-an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(1), 81–91.
- García JF. (2014). Gestión de residuos de construcción y demolición en Alemania. Fundación de la Industria de la Construcción.
https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Fichas%20T%C3%A9cnicas/Alemania_BP.pdf
- Hernández R, & Mendoza C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
- Hernández R, Fernández F, & Baptista P. (2010). Metodología de la investigación. McGraw Hill.

- INVIAS. (2013a). INV E-125:13. Determinación del límite líquido de los suelos. Instituto Nacional de Vías. <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>
- INVIAS. (2013b). INV E-126:13. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Instituto Nacional de Vías. <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>
- Jaramillo, D (2002). INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Juárez, E y Rico, A (2005). Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos México, Limusa.
- Ministerio de Energía y Minas (2016). DECRETO SUPREMO No 003-2013-VIVIENDA. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/5_%20DECRETO%20SUPREMO%20N%C3%82%C2%BA%20003-2013-VIVIENDA.pdf
- Manual de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayos de Materiales. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf
- Ministerio de Vivienda, C. y. S. (2016). Decreto Supremo que modifica el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y

Demolición, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA. *Recuperado de file:///E:/ds_019-2016-vivienda.pdf*

Montoya CMB. (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. Universidad Nacional de Colombia.

Moreno E. (2018). Estabilización de suelos arcillosos con residuos de la construcción y demolición [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2319>

Moreno, H; Gisbert, J e Ibáñez, S (2010). LA ESTRUCTURA DE UN SUELO [Archivo PDF].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16873/AD%20espacio%20poroso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, H; Gisbert, J e Ibáñez, S (2012). EL ESPACIO POROSO DEL SUELO [Archivo PDF]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8010/estructura.pdf>

Natalini M, Klees D, & Tirner J. (2000). Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional del Nordeste.

Nesterenko, D. (2018). Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú [Tesis de Maestría, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3474/MAS_ICIV-L_043.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ochoa S. (2019). Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-concreto fino (partículas < 2mm) para aplicación en pavimentos

- [Tesis Titulación, Universidad Federal de Integración Latinoamericana].
<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>
- Petro GF. (2014). Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra. Secretaría Distrital de Ambiente.
http://ambientebogota.gov.co/es/c/document_library/get_file?uuid=22b72324-272b-44a6-ba9a-48a4b8be7226&groupId=586236
- Quintero JM. (2017). Suelo-cemento con sustitución en franja granulométrica con concreto reciclado [Tesis Titulación, Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1119&context=ing_civil
- Ramírez, R. (1997). PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS. Produmedios.
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>
- Rico A, & Del Castillo H. (1978). La ingeniería de suelos en las vías terrestres carreteras, ferrocarriles y autopistas. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/164716790/La-ingenieria-de-suelos-en-lasvias-terrestres-pdf>
- Rucks, L., García, F., & Kaplán, A. et al. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- SEGAT. (2013). Plan de gestión de residuos de construcción y demolición depositados en espacios públicos y de obras menores del distrito de Trujillo 2014 – 2017. Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo. <http://sial.segat.gob.pe/documentos/plan-gestion-residuos-construccion-demolicion-depositados-espacios>
- Sernaqué P. (2020). Elaboración de bloque de tierra comprimida (BTC) con adición de residuos de construcción y demolición (RCD) como material de construcción

- sostenible en la ciudad de Piura_2020 [Tesis Titulación, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/52173>
- Sosa AJ, Wulff F, Fonseca, & Saavedra. (2010). Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías y bajo tránsito.
- Terrones, A. T. (2018). Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo—2018 [Tesis Titulación, Universidad Privada del Norte].
<https://studylib.es/doc/9117488/terrones-cruz-andrea-thatiana>
- Toscano EA. (2008). Gestión de la ciencia y tecnología para el reciclado de los desechos sólidos en la construcción [Tesis de Maestría]. Monografias.com.
<https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/ciencia-tecnologia-reciclado-desechos-construccion/ciencia-tecnologia-reciclado-desechos-construccion.shtml>
- UAESP. (2010). Informe: Censo de molineros. Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.
http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/InformeCaracterizacionpoblacinrecicladoradeoficio2014.pdf
- Vera P, & Villalobos JJ. (2014). Gestión de los residuos sólidos generados durante la construcción y demolición [Tesis de Maestría, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1562>

ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

TÍTULO: INFLUENCIA DE AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUCCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL DISTRITO DE SITABAMBA, PROVINCIA DE SANTIAGO DE CHUCO, 2022

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿En qué medida influye los agregados reciclados de construcción para estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, 2022?	<p>General:</p> <p>Los agregados reciclados de construcción mejoran la estabilización de suelos arcillosos.</p>	<p>General:</p> <p>Determinar la influencia de agregados reciclados de construcción para estabilización de suelos arcillosos en el distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco, 2022.</p>	<p>VARIABLE 1:</p> <p>Agregado reciclado de construcción</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Según el propósito, es aplicada. Según su diseño, es experimental.</p>	<p>Población:</p> <p>Suelo arcilloso en la vía Panubamba – San Sebastián, Santiago de Chuco.</p>
	<p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los agregados reciclados de construcción disminuyen la plasticidad del suelo arcilloso. • Los agregados reciclados 	<p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las características mecánicas de 			

de construcción la subbase.

disminuyen la humedad • Determinar el porcentaje del suelo arcilloso. adecuado de agregado

• Los agregados reciclados reciclado de construcción de construcción para la estabilización del disminuyen la suelo.

deformación y aumenta el • Comparar los efectos de los esfuerzo del suelo diferentes porcentajes de arcilloso. estabilizante.

• Los agregados reciclados de construcción incrementan los parámetros de resistencia de suelo arcilloso.

de suelos
arcillosos

– San Sebastián,
Distrito de Sitabamba.

Técnica:

Observación

Experimental

Instrumento:

Hoja de fichas de datos.

Nota. Elaboración Propia

Anexo N° 2: Tablas

Tabla 13

Índice de plasticidad de la Arcilla Norma ASTM D4318 – 84

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP>20	Suelos muy arcillosos
20>IP>10	Suelos arcillosos
10>IP>4	Suelos poco arcillosos
IP=0	Suelos exentos de arcilla

Nota. Elaboración Propia

Tabla 14

Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM D422.

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE PARTICULAS
Grava	75 mm - 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm - 0.2 mm Arena fina: 0.2 mm - 0.05 mm
Limo	0.05 mm - 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota. Elaboración Propia

Anexo N° 3: Resultados de análisis de suelo calicata 1



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D7216 - D4318 - D427 - D24871)

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "
 SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Nuñuvera
 UBICACIÓN MUESTRA : vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco. Calicata 01:
 LUGAR : Santiago de Chuco
 FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECI F.	TAMAÑO MÁXIMO DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						P1= 4000
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		PL= 3894.36
T-2"	50.600	384.00	9.60	9.60	90.40		PP= 105.64
1 1/2"	38.100	183.00	4.58	14.18	85.83		%W= 13.9
1"	25.400	580.00	14.50	28.68	71.33		LIMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.050	217.00	5.43	34.10	65.90		LL= 27.71
1/2"	12.700	119.00	2.98	37.08	62.93		LP= 15.25
3/8"	9.525	42.00	1.05	38.13	61.88		IP= 12.45
1/4"	6.350						
N°4	4.760	42.00	1.05	39.18	60.83		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
N° 8	2.380					500	D10= 0.600 Cu=2.69
N°10	2.000	4.94	0.99	39.78	60.22		500 D30= 0.160 Cc=0.03
N° 16	1.190						D60= 1.61
N° 20	0.840	5.54	1.11	40.45	59.55		
N°30	0.590						CLASIFICACIÓN:
N° 40	0.420	33.55	6.71	44.53	55.47		I.G.=
N°50	0.300	56.74	11.35	51.43	48.57		SUCS: SM
N°60	0.250						ASSTHO: A-2-4(0)
N° 80	0.180						OBSERVACIONES:
N° 100	0.149	163.67	32.73	71.34	28.66		
N°200	0.074	120.02	25.08	87.15	12.85		
BASE	105.64	21.13		100.00	0.00		
TOTAL	4000.00	100.00					
% PERDIDA	2.64						





Cesar Augusto Ponce Ybanes
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827





Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dallyy Sidney Guevara Ñuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 01

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - U - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	182.50
SUELO SECO + TARRO	gr	163.20
PESO DE TARRO	gr	39.10
PESO DEL AGUA	gr	18.60
PESO DEL SUELO SECO	gr	125.20
HUMEDAD %	%	13.20

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.15	32.90	11.93	12.14
SUELO SECO + TARRO	gr	29.13	30.10	11.40	11.23
PESO DE TARRO	gr	18.91	18.47	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	3.02	2.80	0.53	0.41
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.22	11.63	2.75	3.13
HUMEDAD %	%	29.55	24.08	19.27	13.10
N° DE GOLPES		22	22		

LIMITE LIQUIDO:	26.40	LIMITE PLÁSTICO:	16.19
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLÁSTICO:	10.22
------------------	-------

$LL = W_n * (N/25)^{0.113}$
Donde:
LL = Limite Liquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Numero de Golpes



Cesar Ponce
Cesar Augusto Ponce Ybanez
ING. CIVIL
R. C.I.P. N° 224527



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com 949123347
 RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

MUESTRA : vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 01

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2119 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9678	10137	10213	9860	
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000	
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3678	4137	4213	3860	
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.78	2.00	2.04	1.87	

Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	414.13	421.17	415.17	432.70	417.20	432.25	450.28	451.67
Peso del Suelo Seco+ Capsula	gr.	400.62	407.16	387.97	405.39	386.00	399.90	377.56	390.60
Peso del Agua	gr.	13.51	14.01	27.20	27.31	31.20	32.35	72.72	61.07
Peso de la Capsula	gr.	39.60	39.65	39.50	39.55	39.54	39.60	39.54	39.61
Peso del Suelo Seco	gr.	361.02	367.51	348.47	365.84	346.46	360.30	338.02	350.99
% . de Humedad	%	3.74%	3.81%	7.8%	7.47%	9.01%	8.98%	21.51%	17.40%
Promedio de Humedad	%	3.78%		7.64%		8.99%		19.46%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.78		1.86		1.87		1.56	

MÉTODO:	ASTM D-1557-91 MODIFICADO C	MÁXIMA DENSIDAD SECA:	1.88 gr/cc.
		HUMEDAD OPTIMA:	8.43%



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarbá
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



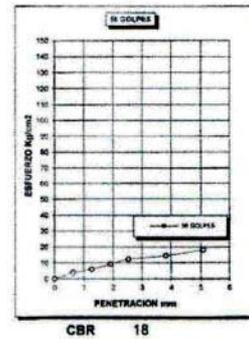
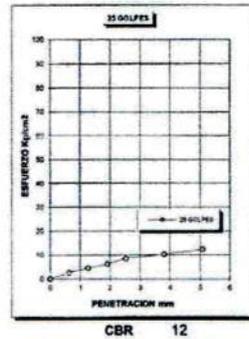
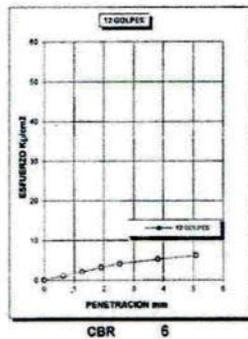
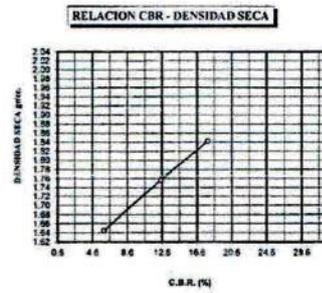
**Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa** 993311514
949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	C	
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)	2.049	
	HUMEDAD OPTIMA (%)	6.74	
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	45.00	
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	35.00	
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" =	N4 =
MUESTRA: via Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Calicata 01	CLASIFICACIÓN		
LUGAR: Santiago de Chuco.	SUCS:		
OBSERVACIONES: MUESTREADO POR EL SOLICITANTE	EMBEBIDO: 4 DIAS		



César Ponce
César Augusto Ponce Ybáñez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

Anexo N° 4: Resultados de análisis de suelo calicata 2



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2716 - D4318 - D427 - D24871)

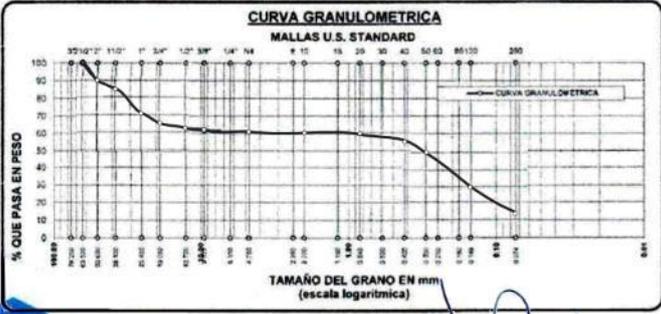
PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

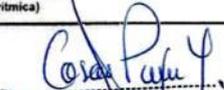
SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Nuñuvera

UBICACION MUESTRA : vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco. Calicata 02:

LUGAR : Santiago de Chuco
FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECI F.	TAMAÑO MAXIMO DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.L.- 4000
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P.L.- 3904.36
1 1/2"	50.600	384.00	9.60	9.60	90.40		P.P.- 95.64
1 1/4"	38.100	183.00	4.58	14.18	85.83		%W=- 13.9
1"	25.400	580.00	14.50	28.68	71.33		LIMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.050	217.00	5.43	34.10	65.90		L.L.- 26.04
1/2"	12.700	119.00	2.98	37.08	62.93		L.P.- 16.19
3/8"	9.525	42.00	1.05	38.13	61.88		IP.- 10.22
1/4"	6.350						
N°4	4.760	42.00	1.05	39.18	60.83		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
N°8	2.380					500	D10= 0.651 Cu = 2.45
N°10	2.000	4.94	0.99	39.78	60.22		500 D30= 0.174 Cc = 0.03
N°16	1.190						D60= 1.182
N°20	0.840	5.54	1.11	40.45	59.55		
N°30	0.590						
N°40	0.420	33.55	6.71	44.53	55.47		CLASIFICACIÓN:
N°50	0.300	56.74	11.35	51.43	48.57		I.G.-
N°60	0.250						SUCS: SM
N°80	0.180						ASSTHO: A-2-4(0)
N°100	0.149	163.67	32.73	71.34	28.66		OBSERVACIONES:
N°200	0.074	129.92	25.98	87.15	12.85		
BASE	105.64			100.00	0.00		
TOTAL	4000.00	100.00					
% PERDIDA	2.64						





César Augusto Ponce Ybarra
ING.-CIVIL
R. C.I.P. N° 224527





Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
949123347

encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dallyy Sidney Guevara Ñuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 02

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - U - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	182.50
SUELO SECO + TARRO	gr	163.20
PESO DE TARRO	gr	39.10
PESO DEL AGUA	gr	18.60
PESO DEL SUELO SECO	gr	125.20
HUMEDAD %	%	13.20

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.33	32.90	11.87	12.15
SUELO SECO + TARRO	gr	29.80	30.10	11.40	11.73
PESO DE TARRO	gr	18.91	18.47	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	3.53	2.78	0.47	0.42
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.89	11.05	2.75	3.13
HUMEDAD %	%	32.42	23.85	17.09	13.42
N° DE GOLPES		22	22		

LIMITE LIQUIDO:	26.40	LIMITE PLASTICO:	16.19
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLASTICO:	10.22
------------------	-------

$LL = W_n * (N/25)^{0.75}$
Donde:
LL = Limite Liquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Numero de Golpes



Cesar Ponce
Cesar Augusto Ponce Ybanez
ING. CIVIL
R. C.I.P. N° 224527



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com 949123347
 RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

MUESTRA : vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 01

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2067 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9677	10138	10212	9861	
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000	
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3677	4138	4212	3861	
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.78	2.00	2.04	1.87	

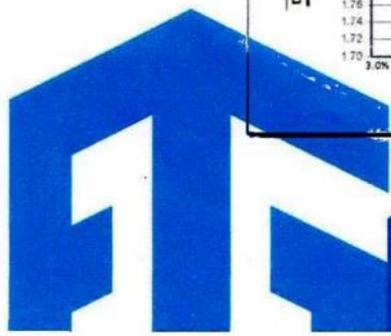
Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	414.16	421.19	415.21	432.58	417.35	432.90	450.35	451.97	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	400.62	407.16	387.97	405.39	386.00	399.90	377.56	390.60	
Peso del Agua	gr.	13.54	14.03	27.24	27.29	31.35	32.00	72.79	61.37	
Peso de la Capsula	gr.	39.60	39.65	39.50	39.55	39.54	39.60	39.54	39.61	
Peso del Suelo Seco	gr.	361.02	367.51	348.47	365.84	346.46	360.30	338.02	350.99	
% . de Humedad	%	3.74%	3.81%	7.8%	7.47%	9.01%	8.98%	21.51%	17.40%	
Promedio de Humedad	%	3.78%		7.64%		8.97%		19.37%		
Densidad del Suelo Seco	%			1.86		1.87		1.56		

MÉTODO: ASTM D-1557-91
MODIFICADO C

MÁXIMA DENSIDAD SECA: 1.87 gr/cc.
HUMEDAD OPTIMA: 8.15%



Cesar Ponce
Cesar Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



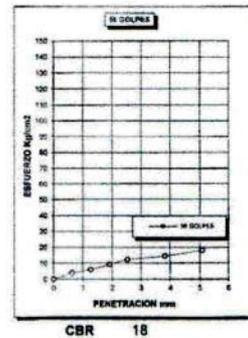
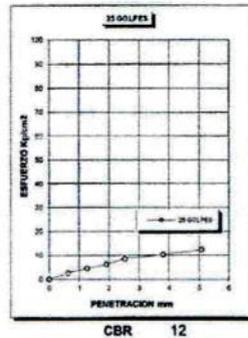
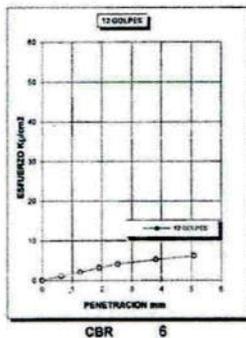
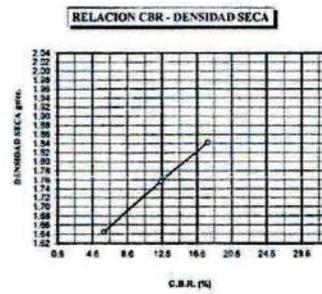
Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS REICLADOS DE CONSTRUCCION EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91		C
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)		2.051
	HUMEDAD OPTIMA (%)		6.71
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)		47,00
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)		38,00
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" =	N4 =
MUESTRA: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Calicata 01	CLASIFICACIÓN		
LUGAR: Santiago de Chuco.	SUCS:		
OBSERVACIONES: MUESTREO POR EL SOLICITANTE	EMBEBIDO: 4 DÍAS		



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13 993311514
 Urbanización San Isidro, I Etapa 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

Anexo N° 5: Resultados de análisis de suelo calicata 3



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2716 - D4318 - D427 - D24871)

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Nuñuvera

UBICACION MUESTRA : Vía Panubamba -San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco. Calicata 03:

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECI F.	TAMAÑO MAXIMO DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.L.= 4000.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P.L.= 3894.36
1 1/2"	50.600	384.00	9.60	9.60	90.40		P.P.= 105.64
1 1/4"	38.100	183.00	4.58	14.18	85.83		%W= 13.90
1"	25.400	580.00	14.50	28.68	71.33		LIMITES DE CONSISTENCIA
3/4"	19.050	217.00	5.43	34.10	65.90		L.L.= 27.83
1/2"	12.700	119.00	2.98	37.08	62.93		L.P.= 15.35
3/8"	9.525	42.00	1.05	38.13	61.88		IP.= 12.48
1/4"	6.350						
Nº 4	4.760	42.00	1.05	39.18	60.83		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
Nº 8	2.380					500	D10= 0.584 Cu=2.844
Nº 10	2.000	4.94	0.99	39.78	60.22		500 D30= 0.181 Cc=0.03
Nº 16	1.190						D60= 1.661
Nº 20	0.840	5.54	1.11	40.45	59.55		
Nº 30	0.590						CLASIFICACIÓN:
Nº 40	0.420	33.55	6.71	44.53	55.47		I.G.=
Nº 50	0.300	56.74	11.35	51.43	48.57		SUCS: SM
Nº 60	0.250						ASSTHO: A-2-4(0)
Nº 80	0.180						OBSERVACIONES:
Nº 100	0.149	163.67	32.73	71.34	28.66		
Nº 200	0.074	120.02	25.08	87.15	12.85		
BASE	105.64			100.00	0.00		
TOTAL	4000.00	100.00					
% PERDIDA	2.64						





Cesar Ponce
Cesar Augusto Ponce Ybanez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
949123347

encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dallyy Sidney Guevara Nuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 03

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - U - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	179.80
SUELO SECO + TARRO	gr	161.30
PESO DE TARRO	gr	39.10
PESO DEL AGUA	gr	18.60
PESO DEL SUELO SECO	gr	125.20
HUMEDAD %	%	13.90

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.25	33.10	11.93	12.14
SUELO SECO + TARRO	gr	29.90	30.10	11.40	11.73
PESO DE TARRO	gr	18.91	18.47	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	3.91	3.00	0.51	0.52
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.98	11.63	2.75	3.13
HUMEDAD %	%	38.48	25.80	18.55	16.61
N° DE GOLPES		22	22		

LIMITE LIQUIDO:	27.71	LIMITE PLASTICO:	17.58
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLASTICO:	10.13
------------------	-------

LL = Wn * (N/25)^{0.75}
Donde:
LL = Limite Liquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Numero de Golpes

César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224327



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com 949123347
 RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

MUESTRA : vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco Calicata 03

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2067 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9677	10138	10212	9861	
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000	
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3678	4138	4212	3861	
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.78	2.00	2.04	1.87	

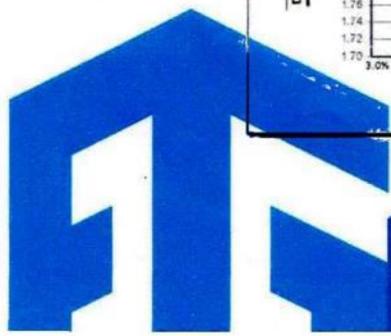
Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	414.16	421.19	415.21	432.68	417.35	432.90	450.97	451.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	400.62	407.16	387.97	405.39	386.00	399.90	377.56	390.60
Peso del Agua	gr.	13.54	14.03	27.24	27.29	31.35	32.00	72.79	61.77
Peso de la Capsula	gr.	39.60	39.65	39.50	39.55	39.54	39.60	39.54	39.61
Peso del Suelo Seco	gr.	361.02	367.51	348.47	365.84	346.46	360.30	338.02	350.99
% . de Humedad	%	3.74%	3.81%	7.8%	7.47%	9.01%	8.98%	21.51%	17.40%
Promedio de Humedad	%	3.78%		7.64%		8.97%		19.37%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.71		1.86		1.87		1.56	

MÉTODO: ASTM D-1557-91
MODIFICADO C

MÁXIMA DENSIDAD SECA: 1.850 gr/cc.
HUMEDAD OPTIMA: 8.51%



Cesar Ponce
Cesar Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



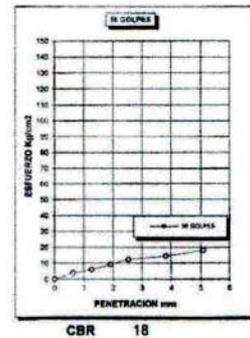
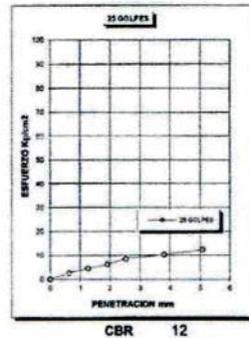
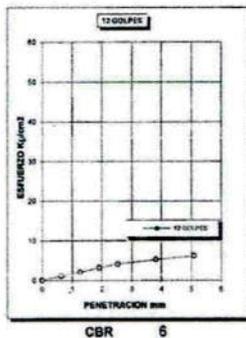
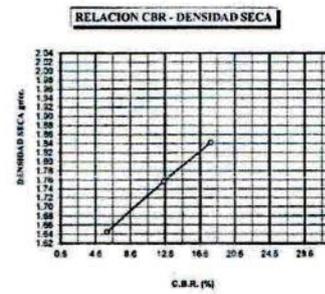
Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCION EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	C	
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)	2.019	
	HUMEDAD OPTIMA (%)	6.93	
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	42.00	
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	33.00	
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" =	N4 =
MUESTRA: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Calicata 01	CLASIFICACIÓN		
LUGAR: Santiago de Chuco.	SUCS:		
OBSERVACIONES: MUESTREO POR EL SOLICITANTE	EMBEBIDO: 4 DÍAS		



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa
993311514
949123347
encopigroup18@hotmail.com **RUC: 20605737359**

Anexo N° 6: Resultados diseño de mezcla 2.5%



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Ñuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco

DISEÑO MEZCLA : 2.5% adición de residuos de demolición

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - Û - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	193.10
SUELO SECO + TARRO	gr	174.35
PESO DE TARRO	gr	39.58
PESO DEL AGUA	gr	18.75
PESO DEL SUELO SECO	gr	134.77
HUMEDAD %	%	13.91

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°:		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	34.90	34.70	12.05	12.07
SUELO SECO + TARRO	gr	31.70	31.90	11.50	11.68
PESO DE TARRO	gr	20.91	17.60	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	3.20	2.80	0.55	0.39
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.79	14.30	2.85	3.08
HUMEDAD %	%	29.66	19.58	19.30	12.66
N° DE GOLPES		22	22		

LIMITE LIQUIDO:	26.40	LIMITE PLÁSTICO:	16.19
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLÁSTICO:	10.22
------------------	-------

$LL = W_n * (N/25)^{1.12}$
Donde:
LL = Limite Liquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Numero de Golpes



Cesar Ponce Ybanez
Cesar Augusto Ponce Ybanez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com 949123347
 RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

DISEÑO DE MEZCLA : 2.5% ADICIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2067 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9830	10173	10330	9700
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3830	4173	4330	3700
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.85	2.02	2.09	1.79

Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	415.27	433.24	414.61	432.80	427.12	441.14	425.25	419.12
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	399.67	416.44	390.70	408.80	397.10	410.14	387.15	384.13
Peso del Agua	gr.	15.60	16.80	23.91	24.00	30.02	31.00	738.10	34.99
Peso de la Capsula	gr.	39.59	39.49	39.24	39.53	39.50	39.50	29.40	39.50
Peso del Suelo Seco	gr.	360.08	376.95	351.46	369.27	357.60	370.57	357.75	344.62
% . de Humedad	%	4.33 %	4.46 %	6.8%	6.50 %	8.39%	8.37%	10.65%	10.15 %
Promedio de Humedad	%	4.38 %		6.65 %		8.38 %		10.40 %	
Densidad del Suelo Seco	%	1.77		1.89		1.93		1.62	

MÉTODO: ASTM D-1557-91
MODIFICADO C

MÁXIMA DENSIDAD SECA: 1.950 gr/cc.
HUMEDAD OPTIMA: 7.90%



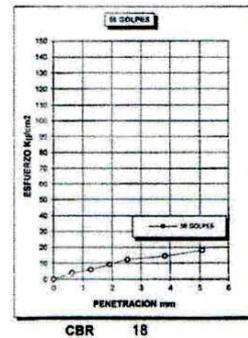
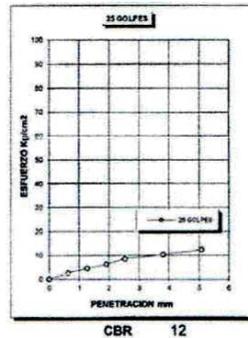
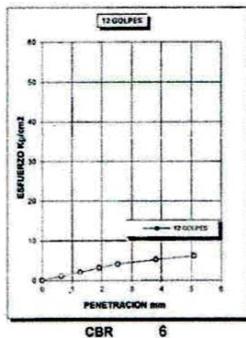
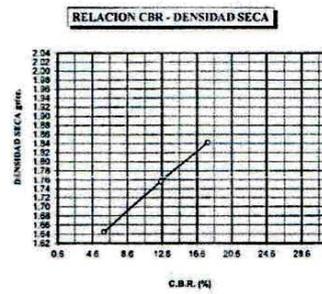
César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS REICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	C
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)	2.049
	HUMEDAD OPTIMA (%)	6.74
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	51
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	39
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" = N4 =
MUESTRA: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Calicata 01	CLASIFICACIÓN	
DISEÑO DE MUESTRA: 5% Residuos de construcción	SUCS:	
LUGAR: Santiago de Chuco.	EMBEBIDO: 4 DÍAS	



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13 993311514
Urbanización San Isidro, I Etapa 949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

Anexo N° 7: Resultados diseño de mezcla 5%



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Ñuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco

DISEÑO MEZCLA : 5% adición de residuos de demolición

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - U - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	192.90
SUELO SECO + TARRO	gr	175.81
PESO DE TARRO	gr	39.55
PESO DEL AGUA	gr	17.09
PESO DEL SUELO SECO	gr	136.26
HUMEDAD %	%	12.54

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	34.05	37.25	12.05	12.07
SUELO SECO + TARRO	gr	34.72	33.95	11.50	11.68
PESO DE TARRO	gr	18.60	18.47	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	4.33	3.30	0.55	0.39
PESO DEL SUELO SECO	gr	16.12	15.48	2.85	3.08
HUMEDAD %	%	28.88	21.32	19.30	12.66
N° DE GOLPES		18	18		

LIMITE LIQUIDO:	23.15	LIMITE PLASTICO:	16.12
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLASTICO:	7.03
------------------	------

LL = Wn * (N/25)^{1.25}
 Donde:
 LL = Limite Liquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Numero de Golpes



César Augusto Ponce Ybarra
 César Augusto Ponce Ybarra
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
 Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

DISEÑO DE MEZCLA : 5% ADICIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2067 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9943	10193	10480	10221	
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000	
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3943	4193	4480	42.21	
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.91	2.03	2.17	2.04	

Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	417.23	430.38	427.14	425.13	443.28	441.15	444.61	462.50
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	397.30	415.14	405.94	404.06	407.13	404.98	390.71	408.81
Peso del Agua	gr.	19.93	15.24	21.20	21.07	36.15	36.17	53.90	53.69
Peso de la Capsula	gr.	39.50	39.52	39.51	39.47	39.30	39.28	39.60	39.55
Peso del Suelo Seco	gr.	357.80	375.62	366.43	364.59	367.83	365.70	351.11	369.59
% . de Humedad	%	5.57%	4.06%	5.8%	5.78 %	9.83 %	9.89 %	15.35 %	14.54 %
Promedio de Humedad	%	4.81 %		5.78 %		9.86 %		14.95 %	
Densidad del Suelo Seco	%	1.82		1.92		1.97		1.78	

MÉTODO:	ASTM D -1557-91 MODIFICADO C	MÁXIMA DENSIDAD SECA:	1.980 gr/cc.
		HUMEDAD OPTIMA:	9.10 %



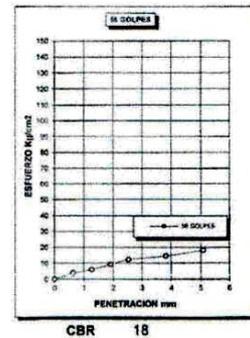
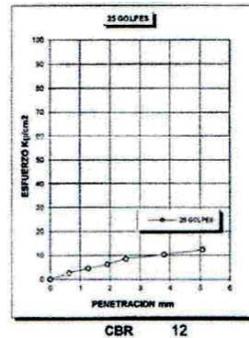
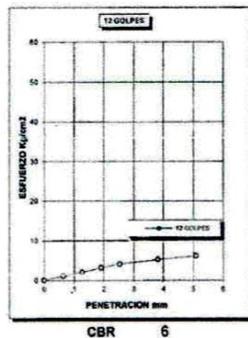
César Augusto Ponce Ybáñez
César Augusto Ponce Ybáñez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224527



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS REICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	C
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)	1.98
	HUMEDAD OPTIMA (%)	9.10
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	58.00
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	43.00
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" = N4 =
MUESTRA: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Calicata 01	CLASIFICACIÓN	
DISEÑO DE MUESTRA: 5% Residuos de construcción	SUCS:	
LUGAR: Santiago de Chuco.	EMBEBIDO: 4 DÍAS	



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarra
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13 993311514
Urbanización San Isidro, I Etapa 949123347
encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359

Anexo N° 8: Resultados de diseño de mezcla 7.5%



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE: BACH. Dally Sidney Guevara Ñuñuvera

UBICACIÓN: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba, Santiago de Chuco

DISEÑO MEZCLA : 7.5% adición de residuos de demolición

LUGAR : Santiago de Chuco

FECHA : 18 DE JULIO DEL 2021

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM - U - 2216 - MTC - E 108

SUELO HÚMEDO + TARRO	gr	187.60
SUELO SECO + TARRO	gr	166.20
PESO DE TARRO	gr	39.60
PESO DEL AGUA	gr	21.40
PESO DEL SUELO SECO	gr	126.60
HUMEDAD %	%	16.90

LIMITE LÍQUIDO - LIMITE PLÁSTICO
ASTM - D424 D- 4318

E INDICE DE PLASTICIDAD
AASHTO - T90

CAPA: Prof. (m)

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLÁSTICO

TARRON N°		F	G	F	G
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	40.21	40.40	11.82	11.98
SUELO SECO + TARRO	gr	35.65	36.60	11.41	11.47
PESO DE TARRO	gr	18.60	18.47	8.65	8.60
PESO DEL AGUA	gr	4.56	3.80	0.41	0.51
PESO DEL SUELO SECO	gr	17.05	18.13	2.76	2.87
HUMEDAD %	%	26.74	20.96	14.86	17.77
N° DE GOLPES		18	18		

LIMITE LIQUIDO:	22.92	LIMITE PLASTICO:	16.31
-----------------	-------	------------------	-------

INDICE PLASTICO:	7.01
------------------	------

LL = Wn * (N/25)^{1.21}
Donde:
LL = Limite Liquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Numero de Golpes



César Ponce
César Augusto Ponce Ybarbá
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO : TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "

SOLICITANTE : BACH. Dailly Sidney Guevara Nuñuvera

DISEÑO DE MEZCLA : 7.5% ADICIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN

LUGAR : Santiago de Chuco

PROFUNDIDAD : 0.80 ml

FECHA : 18 DE JULIO

MOLDE N°	13 - 15	VOLUMEN DEL MOLDE	2067 cc
N° DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9943	10193	10480	10221	
Peso del Molde	gr.	6000	6000	6000	6000	
Peso del Suelo Húmedo	gr/cc.	3943	4193	4480	4221	
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc.	1.91	2.03	2.17	2.04	

Capsula N°	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	417.23	430.38	427.14	425.13	443.28	441.15	444.61	462.59
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	397.30	415.14	405.94	404.13	407.13	404.98	390.71	408.84
Peso del Agua	gr.	19.93	15.24	21.20	21.07	39.30	36.17	53.90	53.59
Peso de la Capsula	gr.	39.50	39.52	39.51	39.47	39.30	39.28	39.60	39.55
Peso del Suelo Seco	gr.	357.80	375.92	366.43	364.59	367.83	365.70	351.11	369.28
% . de Humedad	%	5.57%	4.06%	5.80%	5.78%	9.83%	9.89%	15.35%	14.54%
Promedio de Humedad	%	4.81%		5.78%		9.86%		14.95%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.82		1.92		1.97		1.78	

MÉTODO:	ASTM D-1557-91 MODIFICADO C	MÁXIMA DENSIDAD SECA:	1.88 gr/cc.
		HUMEDAD OPTIMA:	8.43%



César Augusto Ponce Ybáñez
César Augusto Ponce Ybáñez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224527



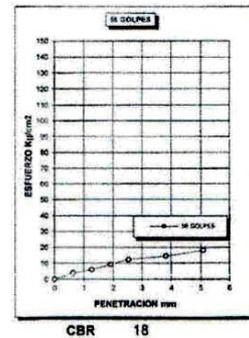
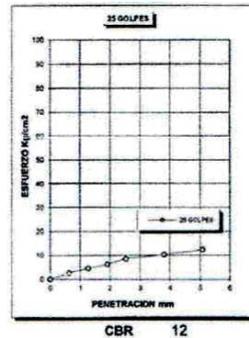
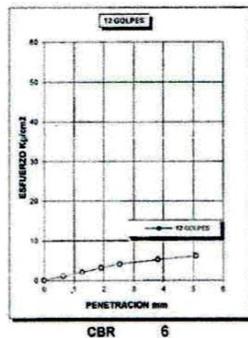
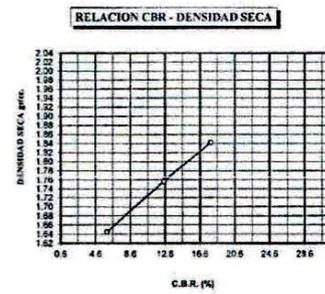
Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 949123347
 encopigroup18@hotmail.com RUC: 20605737359



**LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS - DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

PROYECTO: TESIS " INFLUENCIA DE AGREGADOS REICLADOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS "	MÉTODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	C	
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc.)	1.88	
	HUMEDAD OPTIMA (%)	8.43	
	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	59	
SOLICITADO: Dailly Sidney Guevara Nuñuvera	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	41	
FECHA: 18 DE JULIO DEL 2021	RET MALLA 3/4" =	3/8" =	N4 =
MUESTRA: vía Panubamba - San Sebastián, Distrito de Sitabamba,	CLASIFICACIÓN		
DISEÑO DE MUESTRA: 7.5% Residuos de construcción	SUCS:		
LUGAR: Santiago de Chuco.	EMBEBIDO: 4 DÍAS		



César Ponce
César Augusto Ponce Ybáñez
ING. CIVIL
R. CIP. N° 224827



Calle Aluminio Mz. R Lote 13
Urbanización San Isidro, I Etapa 993311514
 encopigroup18@hotmail.com 949123347
 RUC: 20605737359

Anexo N° 9: Panel Fotográfico

Figura 22

Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-01



Nota. Elaboración Propia

Figura 23

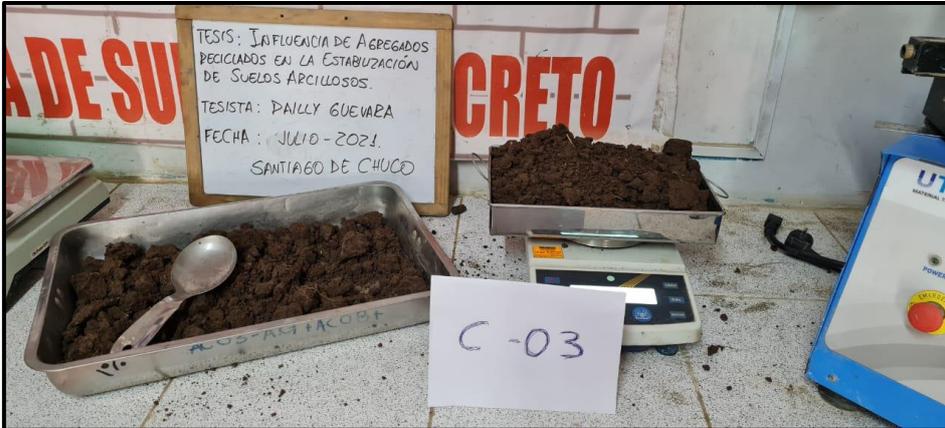
Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-02



Nota. Elaboración Propia

Figura 24

Registro de peso de muestra para análisis granulométrico C-03



Nota. Elaboración Propia

Figura 25

Relación de tamices para ensayo granulométrico



Nota. Elaboración Propia

Figura 26

Registro de pesos retenidos en los tamices



Nota. Elaboración Propia

Figura 27

Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C01



Nota. Elaboración Propia

Figura 28

Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C02



Nota. Elaboración Propia

Figura 29

Elaboración de ensayo de contenido de humedad - C03



Nota. Elaboración Propia

Figura 30

Elaboración de ensayo de límite líquido



Nota. Elaboración Propia

Figura 31

Elaboración de ensayo de límite plástico



Nota. Elaboración Propia

Figura 32

Elaboración de ensayo proctor modificado – C01



Nota. Elaboración Propia

Figura 33

Elaboración de ensayo proctor modificado – C02



Nota. Elaboración Propia

Figura 34

Elaboración de ensayo proctor modificado – C03



Nota. Elaboración Propia

Figura 35

Registro de peso de los moldes más la muestra estabilizada compactada



Nota. Elaboración Propia

Figura 36

Compactación de muestra para Ensayo CBR – C01



Nota. Elaboración Propia

Figura 37

Compactación de muestra para Ensayo CBR – C02



Nota. Elaboración Propia

Figura 38

Compactación de muestra para Ensayo CBR – C03



Nota. Elaboración Propia

Figura 39

Colocación de muestra CBR en la prensa



Nota. Elaboración Propia

Figura 40

Probeta de ensayo CBR



Nota. Elaboración Propia