

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Estabilización de subrasantes de baja capacidad portante utilizando
residuos de construcción y demolición de concreto, sector 1 Urrunaga-José**

Leonardo Ortiz

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

AUTOR

Natalie Fiorella Sanchez Lopez

ASESOR

Lucas Ludeña Gutierrez

<https://orcid.org/0000-0001-7903-3646>

Chiclayo, 2023

**Estabilización de subrasantes de baja capacidad portante
utilizando residuos de construcción y demolición de concreto,
sector 1 Urrunaga-José Leonardo Ortiz**

PRESENTADA POR

Natalie Fiorella Sanchez Lopez

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza

PRESIDENTE

Carmen Chilon Muñoz

SECRETARIO

Lucas Ludeña Gutierrez

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres Deysi Marianela López Barboza y Christian Manuel Sánchez Pinto, por su apoyo incondicional en todo momento y por brindarme una educación superior, además por ser el motivo e inspiración para crecer como persona.

A mi hermana María Fernanda Sánchez López, por su apoyo incondicional, paciencia y consejos para lograr mis metas.

Agradecimientos

A mis padres y hermana, por su ayuda, lecciones, paciencia además de amor brindado cada día.

A mis amigas Any Gamarra y Brigitte Alarcón, por su amistad y consejos.

A mi familia, por su aliento constante y buenos deseos.

A César Nima Puse por su ayuda incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	dspace.unila.edu.br Fuente de Internet	1%
5	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid - EUR Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	

Índice

Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Marco teórico	17
Antecedentes de investigación.....	17
Bases teórico-científicas	21
Definición de suelo	21
Origen del suelo	21
Propiedades físicas de los suelos	21
Clasificación de suelos.....	23
Ensayos para la clasificación de suelos	27
Estabilización de suelos	30
Pavimento	31
Subrasante	31
Residuos de construcción y demolición (RCD).....	32
Residuos de demolición de concreto (RCD-C).....	33
Matriz de Leopold.....	33
Definición términos básicos	33
Materiales y métodos	34
Tipo y nivel investigación	34
Diseño de investigación.....	34
Población, muestra de estudio y muestreo.....	35
Operacionalización de variables	37
Variables	37
Técnicas e instrumentos recolección de datos.....	39
Procedimiento.....	40

Obtención de la muestra.....	40
Contenido de humedad	42
Análisis Granulométrico por tamizado	43
Análisis Granulométrico por medio de hidrómetro	43
Límites de Atterberg	44
Proctor Modificado	45
California Bearing Ratio	46
Propuesta de un procedimiento para la clasificación de residuos de construcción y demolición (RCD).....	48
Tratamiento de la muestra de residuos de construcción y demolición de concreto (RCD-C)	49
Preparación de las muestras con RCD-C	50
Análisis Granulométrico por Tamizado de RCD-C.....	53
Resultados y discusión	54
Resultados.....	54
Contenido de Humedad de muestras naturales	54
Análisis Granulométrico por tamizado de muestras naturales.....	54
Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro de las muestras naturales	56
Límites de Atterberg de muestras naturales.....	56
Clasificación de suelos método SUCS de las muestras naturales.....	57
Clasificación de los suelos método AASHTO de las muestras naturales.....	57
Proctor Modificado de las muestras naturales	57
California Bearing Ratio de las muestras naturales	58
Ensayos Químicos de las muestras naturales.....	58
Análisis Granulométrico por Tamizado del RCD-C.....	58
Ensayos Químicos.....	59
Análisis Granulométrico por tamizado de muestras con adición de RCD-C.....	59

Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro de las muestras con adición de RCD-C	59
Límites de Atterberg de las muestras con adición de RCD-C	60
Clasificación del suelo por método SUCS de muestras con adición de RCD-C	60
Clasificación del suelo por método AASHTO de las muestra con adición de RCD-C	61
Proctor Modificado de muestras con adición de RCD-C.....	61
California Bearing Ratio de muestras con adición de RCD-C	62
Ensayos Químicos de muestras con adición de RCD-C	62
Resumen de los ensayos realizados	63
Discusión	64
Contenido de humedad natural de muestras naturales	64
Análisis Granulométrico por tamizado de muestras naturales.....	64
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro de las muestras naturales	65
Límites de Atterberg de las muestras naturales	65
Clasificación del suelo por método SUCS y AASHTO de las muestras naturales.....	66
Proctor Modificado de las muestras naturales	66
California Bearing Ratio (CBR) de las muestras naturales	67
Ensayos Químicos de las muestras naturales.....	67
Análisis granulométrico por tamizado del RCD-C.....	68
Ensayos Químicos del RCD-C.....	68
Análisis granulométrico por tamizado de muestras con adición de RCD-C	69
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro de muestras con adición de RCD-C	69
Límites de Atterberg de muestras con adición de RCD-C.....	70
Clasificación del suelo por método SUCS y AASHTO de muestras con adición de RCD-C	70
Proctor Modificado de muestras con adición de RCD-C.....	71
California Bearing Ratio de muestras con adición de RCD-C	72
Ensayos Químicos de muestras con adición de RCD-C	73

Evaluación económica	73
Evaluación ambiental.....	76
Conclusiones	80
Recomendaciones.....	82
Referencias	83

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Análisis granulométrico en porcentaje [21]	28
Ilustración 2 Estados de consistencia [21].	29
Ilustración 3 Sector 1 de la urbanización Urrunaga	35
Ilustración 4 Ubicación de las muestras.	36
Ilustración 5 Extracción de muestra de suelo, calicata C-1.....	40
Ilustración 6 Recolección de la muestra de RCD-C.....	42
Ilustración 7 Contenido de humedad.....	42
Ilustración 8 Análisis Granulométrico por tamizado.	43
Ilustración 9 Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.	43
Ilustración 10 Límite líquido.....	44
Ilustración 11 Límite plástico.....	45
Ilustración 12 Proctor modificado.....	45
Ilustración 13 CBR - fase de compactación.	46
Ilustración 14 Ensayo de CBR – fase inmersión.....	47
Ilustración 15 Ensayo de CBR – prensa de carga	47
Ilustración 16 Montículos de RCD-C en el botadero	49
Ilustración 17 Lavado y secado de la muestra de RCD-C.....	49
Ilustración 18 Trituración manual de la muestra de RCD-C.....	50
Ilustración 19 Tamizado de la muestra de RCD-C	50
Ilustración 20 Masas de 2%, 5%, 9%, 15% y 25% de RCD-C	52
Ilustración 21 Preparación de M-2, M-3, M-4, M-5 y M-6	53
Ilustración 22 Análisis Granulométrico por Tamizado del RCD-C.....	53

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción cualitativa de depósitos granulares de suelo [19]	23
Tabla 2 Clasificación según AASHTO M-145 [20].....	24
Tabla 3 Clasificación según SUCS [20].....	26
Tabla 4 Correlación de tipos de suelos [20].....	27
Tabla 5 Clasificación según tamaño de partículas [20].....	28
Tabla 6 Clasificación de índice de plasticidad [20].	29
Tabla 7 Categorías de subrasante conforme su CBR [20]	31
Tabla 8 Clasificación de los RCD [24].	32
Tabla 9 Número mínimo de puntos de investigación [28].....	35
Tabla 10 Cálculo del número de puntos de estudio	36
Tabla 11 Operacionalización de variables	38
Tabla 12 Registro de excavación C-01.	41
Tabla 13 Registro de excavación C-02.	41
Tabla 14 Registro de excavación C-03.	41
Tabla 15: Propuesta de clasificación de los RCD.	48
Tabla 16 Resumen del contenido de humedad de muestras naturales	54
Tabla 17 Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de las muestras naturales... 54	
Tabla 18 Resumen de los análisis granulométricos por medio del hidrómetro de las muestras naturales	56
Tabla 19 Resumen de los límites de Atterberg de muestras naturales	56
Tabla 20 Clasificación de suelos en sistema SUCS de las muestras naturales	57
Tabla 21 Clasificación de suelos en sistema AASHTO de las muestras naturales	57
Tabla 22 Resumen de Proctor modificado de muestras naturales.....	57
Tabla 23 Resumen de resultados de CBR de muestras naturales.....	58
Tabla 24 Resumen de resultados de ensayos químicos de muestras naturales	58
Tabla 25 Resumen del análisis granulométrico por tamizado del RCD-C	58
Tabla 26 Resumen de resultados de los ensayos químicos del RCD-C.....	59
Tabla 27 Resumen del análisis granulométricos por tamizado de muestras con adición de RCD-C	59
Tabla 28 Resumen de los análisis granulométricos por medio del hidrómetro de muestras con adición de RCD-C	60
Tabla 29 Resumen de ensayos de límites de Atterberg de muestras con adición de RCD-C ..	60

Tabla 30 Clasificación de suelos en sistema SUCS de las muestras con adicción de RCD-C	61
Tabla 31 Clasificación de suelos en sistema AASHTO de las muestras con adicción de RCD-C	61
Tabla 32 Resumen de Proctor modificado de muestras con adicción de RCD-C	62
Tabla 33 Resumen de los CBR de las muestras con adicción de RCD-C	62
Tabla 34 Resumen de los resultados de ensayos químicos de muestras con adicción de RCD-C	62
Tabla 35 Resumen de ensayos	63
Tabla 36 Evaluación económica	73
Tabla 37 APU - Recolección de RCD-C	74
Tabla 38 APU Tamizado de RCD-C	74
Tabla 39 APU Triturado de RCD-C	74
Tabla 40 APU Transporte del RCD-C del botadero hacia la chancadora D=13.17 Km	75
Tabla 41 APU Transporte del RCD-C de la chancadora hacia el área del proyecto D=13.17 Km	75
Tabla 42 Identificación de los impactos ambientales	78
Tabla 43 Matriz de Leopold de la obtención y conformación de la subrasante con la adición de RCD-C	79

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Curva granulométrica de muestra M-1 de la calicata 1	55
Gráfico 2 Curva granulométrica de muestra M-1 de la calicata 2	55
Gráfico 3 Curva granulométrica de muestra M-1 de la calicata 3	55
Gráfico 4 Resumen del contenido de humedad de muestras naturales	64
Gráfico 5 Resumen del análisis granulométrico por tamizado de muestras naturales	65
Gráfico 6 Resumen de los límites de Atterberg de muestras naturales	65
Gráfico 7 Resumen de Proctor modificado de muestras naturales - OCH.....	66
Gráfico 8 Resumen de Proctor modificado de muestras naturales - MDS.....	66
Gráfico 9 Resumen de los CBR de las muestras naturales	67
Gráfico 10 Resumen de los ensayos químicos de las muestras naturales	67
Gráfico 11 Resumen del análisis granulométrico por tamizado del RCD-C	68
Gráfico 12 Resumen de los ensayos químicos del RCD-C	68
Gráfico 13 Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de las muestras con adición de RCD-C.....	69
Gráfico 14 Resumen de los límites de Atterberg de las muestras con adición de RCD-C.	70
Gráfico 15 Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de RCD-C – MDS....	71
Gráfico 16 Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de RCD-C – OCH. ...	72
Gráfico 17 Resumen del CBR de las muestras con adición de RCD-C	72
Gráfico 18 Resumen de los ensayos químicos de las muestras con adición de RCD-C	73
Gráfico 19 Comparación de los costos por adición de RCD-C.....	75

Resumen

La urbanización Urrunaga sector 1 presenta suelos de material limo-arcilloso con alta plasticidad y baja capacidad portante, que necesitan una estabilización para ser empleados como subrasante de pavimentos. Conforme con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento en su reporte del 2009, la región Lambayeque generó 26,652 toneladas de residuos de construcción y demolición de concreto (RCD-C) que actualmente no están siendo reaprovechados. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo analizar cómo la adición de RCD-C afecta la estabilización de subrasantes con baja capacidad portante en el sector 1 Urrunaga en José Leonardo Ortiz. Para lograr este propósito, se incorporarán diferentes porcentajes de RCD-C (2%, 5%, 9%, 15% y 25%) al material de la subrasante. Durante el proceso experimental, se llevaron a cabo pruebas para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Según los resultados obtenidos, se observó que a medida que aumentaba la proporción de RCD-C, se producía una disminución en los límites de Atterberg y un aumento en el contenido óptimo de humedad, la máxima densidad seca y el índice CBR. Destaca que la muestra con una adición del 15% de RCD-C cumplió con los requisitos mínimos establecidos por la normativa para una subrasante de calidad aceptable en términos de CBR ($CBR \geq 6$).

Palabras claves

Estabilización de subrasante, capacidad portante, residuos de construcción y demolición de concreto (RCD-C).

Abstract

The Urrunaga sector 1 urbanization presents soils of silt-clayey material with high plasticity and low bearing capacity, which require stabilization to be used as a pavement subgrade. According to the Ministry of Housing, Construction and Sanitation in its 2009 report, the Lambayeque region generated 26,652 tons of concrete construction and demolition waste (CDW-C) that is currently not being reused. Hence, this thesis aims to assess the impact of incorporating CDW-C on the enhancement of low-bearing capacity subgrades in sector 1 of Urrunaga, located in José Leonardo Ortiz. To accomplish this goal, varying percentages of CDW-C (2%, 5%, 9%, 15%, and 25%) will be added to the subgrade material. Throughout the experimental process, tests were conducted to ascertain the physical and mechanical properties of the soil. Based on the findings, it was deduced that the inclusion of CDW-C led to a reduction in the Atterberg limits and an increase in the optimal moisture content, maximum dry density, and CBR (California Bearing Ratio). Notably, the sample with a 15% addition of CDW-C met the minimum requirements stipulated by regulations for achieving a CBR indicative of a satisfactory subgrade ($CBR \geq 6$).

Keywords:

Subgrade stabilization, bearing capacity, concrete construction and demolition waste (CDW-C).

Introducción

La infraestructura vial es uno de los pilares fundamentales para el progreso y desarrollo económico de una nación dado que permite que la población tenga un mejor acceso a bienes, servicios, salud y educación. Siendo así, las obras viales planificadas y desarrolladas correctamente reducen los costos operativos y mejoran el transporte de personas, bienes y servicios; de manera oportuna pueden mejorar y reducir la contaminación ambiental brindando así mayores incentivos económicos a las zonas por las que pasan [1]. Una de las problemáticas en el diseño, construcción y operación de pavimentos es la estabilidad del suelo, en caso de que no se cumpla el requerimiento mínimo de CBR se podría emplear las siguientes alternativas: sustitución, estabilización o mejoramiento con material de préstamo [2].

En el Perú, debido a su variedad geológica, presenta una amplitud muy grande de características de subrasantes. De varios factores que aportan a la calidad de una vía, uno de ellos es el número de CBR del suelo de subrasante. Según la norma peruana, cuando el CBR de la subrasante es menor que 6%, no se debería considerar para un proyecto, debido a que una aplicación inadecuada del criterio mínimo de CBR en pavimentos flexibles puede causar fallas como piel de cocodrilo, ahuellamiento, hundimientos evidentes, etc.

El suelo de urbanización Urrunaga sector 1 de distrito de José Leonardo Ortiz presenta baja resistencia y es potencialmente expansivo. Dada la ausencia de pavimentos el transporte es lento e inseguro, debido a ello la zona tiene limitación en el tránsito vehicular y acceso deficiente a servicios, asimismo se clasifica como un área con vulnerabilidad frente al fenómeno del niño costero [3].

Por ello surge la necesidad de investigar nuevas tecnologías y/o materiales que den cumplimiento con especificaciones necesarias para estabilización de subrasantes con beneficio técnico, económico y ambiental [4].

Dentro de los materiales alternativos están presentes residuos de construcción y demolición (RCD) que puede ser reutilizado de manera amigable con el ambiente en la estabilización de una subrasante [5]. Dado que al utilizar de forma adecuada este tipo de residuos se puede evitar grandes movimientos de tierras que conllevan a la explotación de canteras.

En la actualidad, los RCD son una de las principales tipologías de residuos en cuanto a volumen de generación hasta el punto de ser superiores a los residuos municipales. Además, en el Perú no se cumple con lo indicado en el plan de manejo de RCD ocasionando que este tipo de residuos terminen en botaderos no autorizados, siendo un problema de contaminación

ambiental y visual que se podría mitigar reciclando este material para aplicarlo en subrasantes con la finalidad de aumentar su CBR y evitar que se exploten las canteras o que se disminuya las reservas existentes, por lo tanto, se convierte en una alternativa sostenible.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) en su reporte del 2009, mencionó que en la región Lambayeque generó 222,102 toneladas de RCD. Siendo el segundo más predominante con un 12% (26,652 toneladas) RCD-C [6].

Según la Gerencia de Desarrollo Urbano (GDE) de Municipalidad Provincial de Chiclayo (MPCH), no se tiene estadísticas actuales sobre las cantidades de estos residuos no municipales debido a la gran informalidad de las obras.

Debido a la situación problemática latente en el sector 1 de la urbanización Urrunaga del distrito de José Leonardo Ortiz y en búsqueda de una nueva alternativa de solución, la presente tesis busca implementar el uso de los RCD-C en estabilización de subrasantes con baja capacidad portante con el propósito de mejorar las propiedades físicas y mecánicas, determinando el porcentaje que se debe utilizar de RCD-C para conseguir la estabilización de dicho suelo dentro de la normativa vigente.

Por ello, surge la pregunta ¿Cómo influye la incorporación de residuos de construcción y demolición de concreto en la estabilización subrasantes de baja capacidad portante del sector 1 de la Urrunaga en José Leonardo Ortiz?

Para dar solución al problema identificado, se plantean las siguientes hipótesis:

- ✓ La incorporación de residuos de construcción y demolición de concreto permite estabilizar subrasantes de baja capacidad portante.

Siendo el objetivo general: Evaluar la influencia de la adición de residuos de construcción y demolición de concreto en la estabilización de subrasante de baja capacidad portante en el sector 1 Urrunaga, José Leonardo Ortiz. Igualmente se detallaron los pertinentes propósitos específicos:

- ✓ Proponer un procedimiento para la clasificación de los residuos de construcción y demolición para la estabilización de subrasantes.
- ✓ Caracterizar los residuos de construcción y demolición de concreto mediante los ensayos de granulometría y abrasión de los ángeles.
- ✓ Determinar las propiedades físicas del suelo conforme a lo establecido por las normas: SUCS y AASHTO.

- ✓ Determinar las propiedades mecánicas del suelo y de las adiciones con residuos de construcción y demolición de concreto mediante los ensayos de proctor modificado y CBR.
- ✓ Determinar el porcentaje óptimo de residuos de construcción y demolición de concreto, que cumpla con los requisitos de la normativa nacional vigente para el uso del suelo como subrasante, el cual se determinará mediante el ensayo de CBR.
- ✓ Verificar si las propiedades de las mezclas cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la normativa nacional vigente.
- ✓ Calcular los costos de una estabilización de subrasante con residuos de construcción y demolición de concreto.
- ✓ Evaluar la contribución ambiental de la estabilización de subrasantes de baja capacidad portante utilizando residuos de la construcción y demolición de concreto.

La presente investigación se justifica de la siguiente manera:

La investigación proporcionará un nuevo tipo de estabilización de llegarse a comprobar que los RCD de concreto al ser empleados y aplicados se tienen resultados favorables en estabilización de subrasantes con baja capacidad portante con fines de pavimentación.

Asimismo, se lograría reducir presupuestos para proyectos de estabilización y/o mejoramiento de subrasantes, debido a que los RCD de concreto a utilizar son extraídos de botaderos y teniendo en cuenta que su valor de costo es mínimo debido a que se tendrán como gastos principales la trituración del material y su traslado a obra.

Por otro lado, esta investigación disminuiría la contaminación ambiental y visual al emplear RCD de concreto de botaderos que se encuentra a las salidas de la ciudad.

Con respecto a la salud e higiene, se solucionaría el problema del material particulado que se genera con la circulación de vehículos y la acción del viento, también se disminuiría la propagación de enfermedades al estar en contacto con el suelo.

Marco teórico

Antecedentes de la investigación

En el año 2019, Ochoa [7] en su tesis de pregrado planteó una solución para el mejoramiento de subrasantes limo arcillosas para pavimentos y la destinación de los RCD-C finos. Para ello, se analizó con los siguientes porcentajes 20%, 40% y 60% con relación al total de la

mezcla. Siendo el objetivo principal el estudio de mezcla de suelo y RCD-C fino a través de análisis del CBR, con el propósito de acrecentar la capacidad portante en subrasantes de pavimentos. Respecto a los resultados, los más resaltantes fueron: el CBR de la subrasante estudiada fue 1.78%, por lo cual es necesario estabilizarla. El índice de plasticidad indicó que la mezcla disminuye su plasticidad hasta anularse de forma completa con 60% de adición de RCD-C fino. En ensayo de Proctor modificado se visualizó un acrecentamiento de máxima densidad seca (MDS) mediante la estabilización mecánica provocando una mayor reducción de vacíos. Adicionalmente el óptimo contenido de humedad (OCH) disminuyó al aumentar el porcentaje de RCD-C fino. La expansión de la mezcla después la inmersión disminuyó de 1.23% de la subrasante inicial a 0% de la mezcla con 60% de la adición de RCD-C fino. En ensayo de CBR de muestra con 60% de la adición de RCD-C fino se evidenció un aumento de más de 17 veces su valor respecto al suelo natural.

En la tesis de pregrado de Becerra y Gómez [8] en el año 2019, presentó como objetivo general la determinación de las propiedades físicas como mecánicas de una subrasante arcillosa mejorada con RCD obtenidos de los sobrantes de bases y subbases, lo cual se evidencia en el mejoramiento del comportamiento mecánico. Para lo cual, usaron adición de 5%, 10% y 20% de RCD con relación total de la mezcla. Dando como resultados que el CBR aumentó de 4% a 6%; por ello, recomiendan que para obtener un CBR mayor al 10% se realicen ensayos con porcentajes mayores al 30% de RCD. El RCD obtenido se comportó como una arena bien gradada, por lo cual, se concluye que las propiedades físico y mecánicas del material depende principalmente de su granulometría para subrasantes.

Gonzales e Infante [9], en el año 2021, mediante su tesis de pregrado presentó como propósito principal establecer propiedades físicas además de mecánicas de subrasante de consistencia blanda a muy blanda optimizada mejorada con RCD. Se tuvo en cuenta que la subrasante natural recolectada fue un limo de baja plasticidad (ML) y en ensayo de CBR al 95% de compactación se consiguió valor de 3.9%, siendo clasificada como subrasante pobre. Para ello se le adicionará al material de la subrasante el 30%, 40% y 50% de RCD. A partir de los resultados se reconoce que ante el aumento de adición de RCD al suelo de subrasante, los pesos de las gravas, arenas además de finos se incrementaron, no obstante, el peso de los finos disminuyó; lo cual generó que el suelo natural cambie sus características de un limo a una arena limosa. También la densidad máxima y la capacidad portante aumenta respecto a las dosificaciones empleadas; así como la humedad óptima y la plasticidad disminuyen, mejorando su compactibilidad y manejabilidad.

Banzibaganye et al. [10], en el 2018, mediante su artículo científico propuso analizar la utilización de cal y partículas finas de residuos de concreto con el propósito de optimizar la resistencia del suelo arenoso limoso, así como evaluar la vinculación de carga de California (CBR) y resistencia de corte. Los ensayos de CBR se realizaron para las muestras de suelo con cal y suelo con residuos finos de concreto utilizando proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% por masa seca del suelo; siendo las condiciones del espécimen empapado y no empapado. Teniendo como resultados se tiene: en ensayo de CBR de suelo no empapado mezclado con cal aumentó de 9,18% (0% de cal) a 18,18% (6% de cal) y el del suelo estabilizado empapado, el CBR aumentó de 4.94% (0% cal) hasta 13.2% (6%). El CBR de suelo no empapado mezclado con residuos finos de concreto demolido aumenta de 9,18% (0% cal) a 20,83% (8% contenido de concreto) y el del suelo estabilizado empapado, CBR aumenta de 4.94% (0% contenido de concreto) hasta 14.19% (8%). La mayor adición de concreto más allá del 6% y 8% de cal y concreto, respectivamente, muestra una disminución del valor de CBR. Por lo tanto, el 6% y el 8% de cal y de residuos finos de concreto, respectivamente, son tomados como el contenido óptimo que da valoraciones máximas de CBR. También se puede destacar que la subrasante con mayor capacidad portante reduce los espesores de capas de pavimento (subbase y base) que a su vez reducen el costo de todo el proyecto.

Amrutha et al. [11] en el 2018, en su artículo propone estudiar propiedades del suelo rojo y determinar estabilidad de la subrasante con adición de RC de concreto. Los suelos rojos poseen menor resistencia en comparación con otros suelos debido a su estructura porosa, frágil y tiene una mayor capacidad de hinchamiento, por lo que requiere estabilización, la cual se realiza generalmente con cal, cenizas volantes, granulado escoria de granallado, etc., de los cuales los RCD son factor principal. La subrasante que se estudió tuvo un valor de CBR del 2,3% y, por lo tanto, podría clasificarse como subrasante pobre. Se realizaron ensayos de Proctor estándar con la adición de diferentes proporciones de residuos de concreto triturado desde 0% a 60% con un incremento de 10% su compactación; teniendo como resultado un aumento gradual y luego una disminución, que con la adición del 40% de residuos de concreto triturado, la MDS aumentó de 1.70 g/cc a 1.95 g/cc, lo cual significa una disminución de la relación de vacíos. Para el ensayo de CBR, de igual forma se evaluó con los mismos porcentajes, teniendo como resultado un aumento gradual y luego una disminución, con adición de 40% de RC triturado se alcanzó el máximo CBR de 2.37% a 24.09%. Por último, se concluyó que es necesario el 40% de adición de RCD-C como porcentaje óptimo.

Noriega y Villarreal [12], en el estudio de pregrado evaluó la influencia del porcentaje de concreto reciclado obtenido de probetas de laboratorio para estabilización de suelos arcillosos para un pavimento flexible. Para ello, se utilizaron dosificaciones del 7%, 10% y 12% de concreto reciclado respecto a muestra extraída de suelo arcilloso. Luego de los ensayos realizados, la clase de suelo encontrado en área de análisis es una arcilla con baja plasticidad (CL), el CBR del suelo estuvo en un rango de 1.90% a 4.41% y en ensayo de contenido de humedad se observó que el suelo natural no llegaría a su MDS, dado que, humedad natural es mayor que la humedad óptima; lo que figura que el agua ocupa los espacios vacíos en el suelo. Se concluyó que el porcentaje adecuado para cumplir con el porcentaje de CBR de 30% para una subrasante excelente es del 7% de concreto reciclado, sin embargo, con una adición del 10% del concreto reciclado se consigue una valoración de 146.41% de CBR y con la adición del 12% el CBR aumenta a 131.09%.

Del Río [13], en su tesis de pregrado presentó como objetivo principal la determinación del óptimo porcentaje de concreto reciclado para la estabilización de suelos arcillosos con fines de pavimentación. Para lo cual, se incorporó concreto reciclado en puntajes porcentuales de 11%, 13% además de 15% en el suelo arcilloso. En los resultados de los ensayos realizados se sabe que el CBR del suelo patrón es de 9.52% y con adición de concreto reciclado del 11%, el CBR fue de 10.8%; con 13% de concreto reciclado, el CBR fue de 12.2%; y con el 15% de la adición, el CBR fue de 13%. Respecto a esos resultados se concluye que el CBR aumenta conforme se aumente el porcentaje de la adición de concreto reciclado. El concreto reciclado se clasifica según SUCS como limoso arcilloso (MH) y el suelo patrón como arena arcillosa (SC). En el ensayo de proctor, se reconoció que, al aumentar el porcentaje de concreto reciclado, la densidad seca disminuye; sin embargo, el contenido óptimo de humedad acrecienta.

Sinarahua [3], en su estudio de pregrado determinó el promedio del CBR al 95% MDS del suelo de la subrasante es 2.87%, por lo tanto, se clasifica como una subrasante inadecuada al presentar un CBR menor al 3%.

Bases teórico-científicas

Definición de suelo

El suelo es un conjunto de partículas minerales, estas pueden ser orgánicas e inorgánicas, producto del proceso de desintegración mecánica o química de las rocas. Representa a cualquier clase de material terroso, desde un terraplén de desperdicio hasta lutitas. Las rocas ígneas, sanas y los rellenos sedimentarios con un elevado índice de sedimentación, que permanezcan en su mismo estado frente a la acción de la intemperie [14].

Origen del suelo

Los suelos se forman producto del proceso sedimentario de las rocas, sin embargo, luego de esto puede seguir con la meteorización (puede ser física, química o biológica) o ser transportado por el agua, corrientes de aire y glaciares.

A continuación, se explicará algunos tipos de suelos:

- **Suelos residuales:** Son los suelos más antiguos, están conformados por los restos producto de la intemperización de las rocas, que son producidas por acciones físicas químicas y biológicas, las cuales dan como resultado las formaciones de este tipo de suelo [15].
- **Suelos transportados:** Son suelos que han sido transportados por el viento y agua, generalmente son suelos blandos y sueltos que presentan problemas técnicos para la construcción de infraestructuras; en este tipo resaltan las dunas en los desiertos y los cantos rodados a orillas de ellos ríos [17].

En la geología moderna también se considera el efecto de los glaciares para la formación de suelos, teniendo como hipótesis que hace millones de años el clima en algunas partes de la tierra llegaba a tal temperatura que era capaz de triturar las rocas, extendiéndolas por el terreno, dando origen a los suelos glaciales [16].

Propiedades físicas de los suelos

El suelo a nivel de terreno natural es un material no consolidado, que puede contener materia orgánica que afecta en sus propiedades físicas. Las propiedades físicas del suelo son medibles y observables, lo que permite clasificarlo dentro varios tipos. Estas propiedades dependen del estrato y profundidad de donde ha sido obtenida la muestra. Dentro de las principales propiedades físicas se encuentran [16]:

- **Textura y color:** Las partículas de suelos se pueden clasificar de acuerdo con su textura en: Rugosas, lisas, estriadas, picadas y pulidas; esta textura puede identificarse con el tacto del observador; asimismo, dependerá de la experiencia de este para relacionarlo con alguna propiedad mecánica.

Respecto al color esta propiedad responde más a la composición química de las partículas y tiene mayor importancia para los geólogos.

- **Forma de las partículas:** Las partículas de suelo tienen formas variadas que dependen de su origen, y cambian respecto a su tamaño; se puede clasificar de la siguiente forma: Redondeadas, cantos vivos, cantos redondeados, laminares, alargadas, chatas. Se relaciona esta propiedad con capacidad de portante del suelo en función de los siguientes parámetros: esfericidad, angulosidad, planeidad.

La forma de estas permite su acomodo respecto a cargas que se les apliquen, por ejemplo, las partículas con características de planeidad son muy resistentes antes sollicitaciones de fuerzas verticales a pesar de que se puedan desplazar horizontalmente; en cambio las partículas alargadas representan un peligro en estabilidad debido a que tienden a orientarse en una misma dirección.

- **Porosidad:** Es la vinculación que existen entre volumen de vacíos con relación al volumen total del suelo, no se tiene en cuenta el contenido de agua ni de aire. Los valores de n varían de 0 a 100%, sin embargo, no puede ser $n=0$ ya que sería un sólido perfecto, tampoco $n = 100\%$ sería algo irreal [17].
- **Índice de vacíos:** Es la vinculación entre volumen de vacíos con respecto al volumen de las partículas solidad del suelo. El menor valor que se puede obtener es de 1 y puede llegar a valores elevados. Esto dependerá del grado de compactación que haya tenido el suelo para reacomodarse internamente [18].
- **Densidad relativa:** Esta propiedad hace referencia cuando un suelo está entre los valores máximos y mínimo de densidad; estos valores están comprendidos entre 0 y 1; siendo más resistente cuando esta próximo al 1 (compacto) y más blando cuando se encuentra en el otro extremo(suelto) [19].

Tabla 1 Descripción cualitativa de depósitos granulares de suelo [19]

Descripción cualitativa de depósitos granulares de suelo	
Densidad relativa (%)	Descripción del depósito de suelo
0-15	Muy suelto
15-50	Suelto
50-70	Medio
70-85	Denso
85-100	Muy denso

Clasificación de suelos

Según el MTC nos brinda como deben ser clasificados y descritos los suelos de acuerdo con los métodos normados AASHTO M-145 Y ASTM D-2487 (SUCS); siendo el primero ampliamente usado en proyectos viales [20].

Clasificación de suelos mediante la norma AASHTO M-145

Esta metodología se estableció en 1929 bajo el nombre de “Sistema de clasificación de la oficina de caminos públicos”, y cambió a lo largo de los años hasta llegar a la regulación actual denominada método AASHTO M145 propuesto por comité para categorización de materiales para subrasantes y caminos tipo granulares del consejo de investigaciones carreteras.

Este tipo de clasificación considera 7 grupos generales de suelos, que inicia en A-1 hasta A-7, así mismo estos se subdividen en dos subgrupos y el A-2 en cuatro subgrupos.

Para realizar este tipo de clasificación es necesario efectuar ensayos de análisis granulométrico además de límites de Atterberg, a esto se le puede añadir la posición relativa en el grupo por medio del índice de grupo IG, el cual está comprendido entre el rango de 0 y 20, dependiendo del porcentaje de suelo pasante por el tamiz #200 ASTM.

Cuando el valor de IG es menor que 0, se asume como 0, esto significaría que estamos frente a un suelo muy bueno y un IG mayor o igual a 20, un suelo no apto para carreteras.

La tabla de esta clasificación de suelos es la siguiente:

Tabla 2 Clasificación según AASHTO M-145 [20]

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa por el tamiz N°200)						MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO (más del 35% pasa el tamiz N°200)				
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa											
N°10 (2 mm)	50 máx	-	-	-				-			
N°40 (0.425 mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0.075 mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N°40											
Límite Líquido (LL)	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de Plasticidad (IP)	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes Principales	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Categorización de suelos mediante la norma ASTM D-2487 (SUCS)

Esta metodología fue propuesta en 1942 por Casagrande, cuyo fin era la construcción de aeropuertos en la Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, en 1952 el sistema fue revisado con apoyo de la Oficina de Restauración de los Estados Unidos, estandarizándose su uso hasta la actualidad.

Esta clasificación utiliza símbolos de grupo, las cuales emplean un sufijo y prefijo de acuerdo con sus propiedades.

Los ensayos necesarios para realizar este tipo de clasificación son el análisis granulométrico y límites de consistencia [20].

La tabla de esta clasificación de suelos es la siguiente:

Tabla 3 Clasificación según SUCS [20].

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO					
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz N°200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N°4 (4.76mm)	Gravas Limpias (sin o con pocos finos)	GW	Grava bien graduada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.	Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz N° 200), los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: 12% GM, GC, SM, SC 5 al 12% casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu>4, Cc entre 1 y 3.			
			GP	Grava mal graduada, mezclas grava - arena, poco o ningún fino.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.			
		Gravas con Finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.		Limites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren GC doble símbolo.		
			GC	Grava arcillosa, mezclas grava - arena arcillosas		Limites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.			
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el por el tamiz N°4 (4.76mm)	Arenas Limpias (pocos o sin finos)	SW	Arena bien graduada.		Cu>6, Cc entre 1 y 3.			
			SP	Arena mal graduada, arenas gravosas, poco o ningún fino.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW			
		Arenas con Finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena y limo.		Limites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren de doble símbolo.		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla.		Limites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.			
			SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200	Limos y Arcillas Limite Líquido menor de 50		ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o	
						CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas	
OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.								
Limos y Arcillas Limite Líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.							
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.							
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.							
Suelos muy Orgánicos		P	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.						

Correlación de tipos de suelos

A continuación, se predice un comportamiento aproximado de los tipos de suelo, estableciendo sus similares entre ambas clasificaciones desde el enfoque geotécnico [20]:

Tabla 4 Correlación de tipos de suelos [20]

Relación entre los sistemas de clasificación AASHTO M-145 y ASTM D-24	
Clasificación de Suelos según AASHTO M-145	Clasificación de Suelos según ASTM D-2487 (SUCS)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Ensayos para la clasificación de suelos

Contenido de humedad

Este análisis sigue las pautas establecidas en la normativa MTC E 108, donde la humedad de un suelo se define como la proporción del peso de agua presente en una masa de suelo, expresada como un porcentaje. La resistencia de los suelos subyacentes, especialmente aquellos de naturaleza fina, está estrechamente relacionada con las condiciones de humedad y densidad [20].

Análisis granulométrico por tamizado

Este ensayo permite representar la distribución granulométrico que tiene el suelo mediante tamices establecidos en las especificaciones técnicas (MTC EM 107). Los tamices son las herramientas principales para efectuar este ensayo, están compuestos por un marco rígido en el cual se encuentra sujeta una malla con un espaciado entre los hilos que es denominada abertura de tamiz, por la cual pasa el suelo que se está ensayando [20].

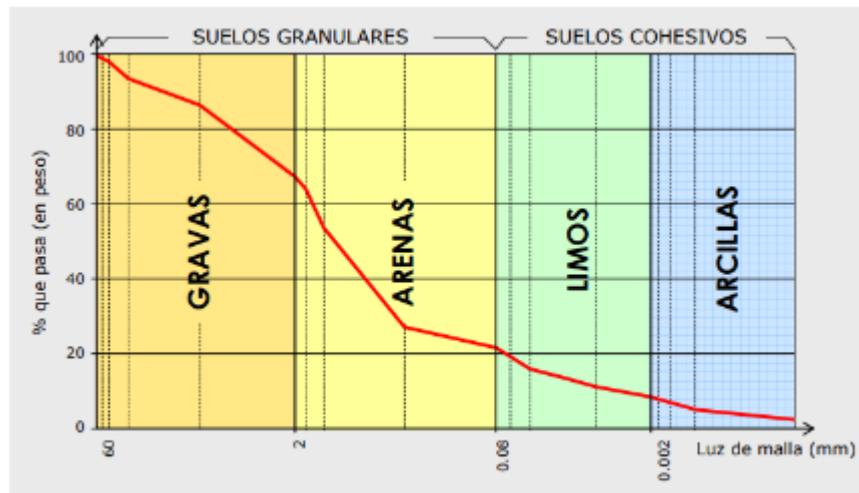
De acuerdo con el tamaño de partículas del suelo se tiene la correspondiente clasificación:

Tabla 5 Clasificación conforme el tamaño de las partículas [20]

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

Luego del proceso de tamizado, se procede a representar los porcentajes que pasan las mallas en una gráfica semilogarítmica, como a continuación:

Ilustración 1 Análisis granulométrico en porcentaje [21]



Estados de consistencia

Medir la plasticidad en las arcillas es muy importante debido a que esta propiedad se altera con la presencia o ausencia de agua pasando rápidamente de un estado sólido a comportarse como un líquido, los estados detallados por Atterberg son:

Estado líquido, presenta las propiedades de una suspensión

Estado semilíquido, presenta propiedades de un fluido viscoso.

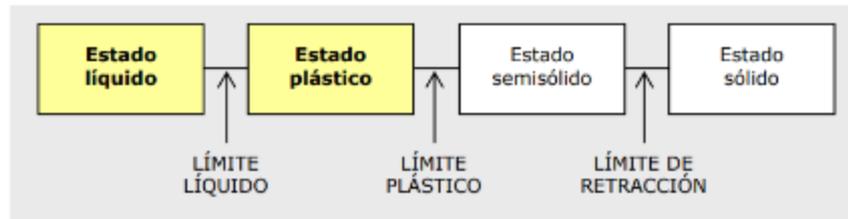
Estado plástico, se comporta plásticamente

Estado semisólido, el suelo presenta una apariencia sólida, pero aún puede disminuir su volumen si se seca,

Estado sólido, el suelo ya no varío su volumen cuando se somete a secado.

En la siguiente ilustración se aprecia los estados y los límites que los separan.

Ilustración 4 Estados de consistencia [21].



Los valores más importantes más importantes son el límite líquido y el límite plástico, la diferencia de ambos determina el índice de plasticidad de un suelo, pudiendo hacerse una clasificación rápida del suelo.

Tabla 6 Clasificación del índice de plasticidad [20].

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Proctor modificado

Este ensayo se realiza bajo la normativa del MTC EM 115, posee como propósito conseguir la humedad óptima de compactación del suelo para una energía de compactación dada [22].

Californian Bearing Ratio (CBR)

Este ensayo se realiza bajo la normativa del MTC EM 132, luego de haberse clasificado el suelo por el sistema SUCS y AASHTO, se efectúa el ensayo para establecer su CBR que es la capacidad de soporte que presenta un suelo, el cual se refiere al 95% de la máxima densidad seca (MDS) y una penetración de carga de una pulgada (2.54 mm), la velocidad de carga del ensayo es de 1.27 mm/min, el ensayo está definido por la vinculación entre presión que se necesita para que

le pistón penetre la muestra suelo una pulgada y la requerida para que penetre la misma profundidad en una piedra patrón [22].

Durante este ensayo también se puede medir la expansión sumergiendo la muestra durante 4 días en agua, y aplicando una sobrecarga, durante este proceso se efectúa dos lecturas una al inicio y una al final con un trípode calibrado.

Ensayos químicos

Sales Soluble Totales

Según el MVCS el límite máximo para subbases granulares es de 1.00% y para bases granulares es de 0.50%.

Estabilización de suelos

Se detalla como mejoramiento que se hace a las particularidades físicas de un suelo ya sea a través de métodos mecánicos o adición de aditivos sintéticos, naturales o químicos. Este procedimiento se realiza cuando el suelo presente en la subrasante califica como pobre o inadecuada, encontrándose con valores de CBR por debajo del 6% [20].

Con el proceso de estabilización también se busca mejorar la resistencia mecánica del suelo en el tiempo, existe una diversidad de métodos que van desde la adición o reemplazo de suelos; cualquiera sea el método empleado siempre se realizara una compactación.

Criterios para estabilización de suelos

- Todas subrasantes con CBR menor o igual a 6%, zonas húmedas locales, suelos blandos, requerirán de un proceso de estabilización, mejoramiento o reemplazo, siendo decisión del ingeniero responsable tomar la mejor decisión con sustento técnico económico.
- Subrasantes que presentes un tipo de suelo arcilloso o limoso, y que, con la presencia de agua, ascienda por capilaridad afectando a las capas adyacentes del pavimento llegando a contaminarlas, en esta situación se puede adicionar material granular o implementa un geotextil.
- La presencia del nivel freático debe quedar por debajo de la subrasante a 0.60m como mínimo cuando esta sea extraordinaria o muy buena, cuando sea una

subrasante bueno y regular a 0.80m, para subrasante pobre 1.00 m y por último cuando se presente una subrasante inadecuada será de 1.20 m.

- En proyectos ubicados sobre los 4,000 msnm se tiene que estudiar el efecto de las heladas en el suelo, teniendo en cuenta el nivel freático si este se encuentra por debajo de 1.20m el efecto del congelamiento no llegara a la subrasante, sin embargo, para profundidades de 0.60m y presencia de suelos susceptibles al congelamiento, se debe realizar un reemplazo de material.
- Se puede establecer siguiente proceso para identificación de tipo de suelo existente en la subrasante

Pavimento

Se denomina pavimento a la estructura que está conformada por un grupo de capas horizontales superpuestas, que son diseñadas y construidas bajo un procedimiento técnico riguroso con materiales granulares adecuados y compactados. Esta estructura reposa sobre una subrasante obtenida posterior al movimiento de tierras (corte o relleno) la cual debe tener la capacidad de soportar las cargas que genere el tránsito durante el periodo de vida [23].

Subrasante

Es una capa de gran importancia en el diseño de pavimentos, debido a que según la calidad que está presente se reducirá o aumentara los espesores de las capas que reposan sobre ella, ya sea para un pavimento flexible o rígido. Un parámetro con el que se evaluar es su capacidad de soporte o CBR, no obstante, presenta otros factores que determinan su calidad, como la sensibilidad a la humedad y expansión. Las subrasantes de categorizan de acuerdo con su porcentaje de CBR en:

Tabla 7 Categorías de subrasante según su CBR [20]

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3%
	A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6%
	A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10%
	A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20%
	A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Residuos de construcción y demolición (RCD)

Se denominan así a los residuos que se generan en el ámbito urbano, producto de diversos procesos constructivos o de demolición de obras civiles, esto incluye residuos de estructuras demolidas, renovaciones en el sector inmobiliario y construcción y reparación de carreteras, pasos elevados, puentes, etc [24].

Clasificación de los RCD

A continuación, se muestran las categorías, grupos, clases y componentes de los RCD.

Tabla 8 Clasificación de los RCD [24].

CATEGORÍA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES	
RCD APROVECHABLES	Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosin, morteros y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz número 200 de granulometría.	
	Residuos de material fino	Residuos finos no expansivos	Arcillas, limos y residuos inertes, no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz número 200 de granulometría.	
		Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz número 200 de granulometría.	
	Otros residuos	Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, caucho y demás materiales similares.	
		Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño, zinc y demás materiales similares.	
		Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra.	
		Residuos orgánicos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.	
RCD NO APROVECHABLES	Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos, patógenos (biológicos)	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos y demás materiales similares.	
	Residuos especiales	No definida	Poliestireno - Icopor, cartón - yeso (drywall), llantas y demás materiales similares.	
	Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos		Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como materiales peligrosos.
		No definida		Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento.
	Otros residuos	No definida		Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en las obras.

Residuos de demolición de concreto (RCD-C)

RCD-C tiene un atractivo significativo con relación al uso de materias primas naturales, esencialmente resuelve la eliminación de estos residuos, y mediante el reciclaje puede reducir la extracción de recursos no renovables [24].

Matriz de Leopold

Este método fue el primero que se utilizó para la evaluación de impacto ambiental en los Estados Unidos desde 1971 y se basa en una matriz que consta de acciones en las columnas y factores ambientales en las filas, cuando estas se interceptan muestran posibles impactos o efectos ambientales, se valora la magnitud y la relevancia del efecto en una escala de 0 a 10, teniendo como resultado en la suma de las filas el impacto que produce un factor ambiental y en la suma de columnas el impacto que produce una acción [25].

Definición de términos básicos

Calicata: Excavación manual a cielo abierto que se realiza en terreno para estudiar la estratigrafía del suelo en diferentes profundidades, así como la recolección de muestras alteradas [26]

Capacidad portante: Se define como la carga que puede soportar sin que se lleguen a producir asientos ni deformaciones excesivas [22].

Estabilidad: Consecuencia del proceso de estabilización [27]

Estabilización: Proceso físico o químico que mejora las propiedades físicas y mecánicas de un suelo [27].

Pavimento: Estructura que consiste en una serie de capas horizontales superpuestas diseñadas y construidas bajo un procedimiento técnico riguroso con materiales granulares adecuados y compactados [23].

Plasticidad: Propiedad que presentan algunos suelos de modificar su consistencia dependiendo de la humedad y elementos finos del suelo [20]

Subrasante: Capa inferior del pavimento obtenida posterior al movimiento de tierras (corte o relleno) [21]

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Según su finalidad corresponde a un estudio aplicado dado que se aplicarán los conocimientos existentes de la ingeniería de pavimentos para solucionar el problema de las subrasantes con baja capacidad portante.

Según los datos analizados y la metodología para contrastar las hipótesis, presenta un enfoque cuantitativo y corresponde a un diseño experimental dado a que se basa en la manipulación intencional de la variable independiente (RCD de concreto) y así analizar la influencia en la variable dependiente (estabilización de subrasante de baja capacidad portante).

Nivel de investigación

El nivel de estudio es correlacional debido a que tiene como propósito efectuar la medición la relación entre las independiente y la variable dependiente.

Diseño de la investigación

La presente tesis tiene un diseño experimental debido a que se manipulará convenientemente la variable independiente con relación a una muestra patrón (variable dependiente), en este caso, a un grupo experimental de suelo extraído de la subrasante se aplicará estímulos de RCD de concreto en diferentes porcentajes comparando los resultados obtenidos en relación de una muestra patrón del mismo suelo.

Oe \rightarrow X1 \rightarrow M1 (Grupo experimental: suelos de subrasante con adición de RCD-C)

Oc \rightarrow -X1 \rightarrow M1 (Grupo de Control: suelos de subrasante)

Donde:

X1: presencia o ausencia de RCD-C.

M1: mediciones

Población, muestra de estudio y muestreo

Población

En esta tesis la población está conformada por las subrasantes del sector 1 de la urbanización Urrunaga, comprende las vías que no están pavimentadas. Comprende de un área de 22.5 hectáreas.

Ilustración 5 Sector 1 de la urbanización Urrunaga



Muestra de estudio

La muestra de estudio se halla constituida por subrasantes de vías locales: Ayacucho, Huáscar, Atahualpa, Panamá, Argentina y Santa Martha.

Muestreo

Para el desarrollo del estudio, se utilizó un muestreo probabilístico debido a que la selección de muestra no depende de la probabilidad sino de criterio estipulado en la norma CE.010 Pavimentos Urbano, la cual indica la cantidad de muestras a realizarse según el tipo de vías al que pertenece como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Número mínimo de puntos de investigación [28]

TIPO DE VÍA	NÚMERO MÍNIO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresa	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

La forma de exploración de suelo en esta tesis será mediante la realización de calicatas, se determina el área de las vías locales sin pavimentar según su ancho y longitud, representado en la tabla 10:

Tabla 10 Cálculo del número de puntos de investigación

Nombres de calles no pavimentadas	Ancho de vías (m)	Longitud de vía (m)	Área parcial (m ²)
Atahualpa	7.00	260.00	1820.00
Huascar	7.00	280.00	1960.00
Ayacucho	7.00	240.00	1680.00
Panamá	10.00	250.00	2500.00
Argentina	10.00	250.00	2500.00
Santa Martha	10.00	130.00	1300.00
Área Total			9940.00
Total de Muestras			2.76

En la tabla 10 se obtiene como total de muestras 2.76, se asume el valor entero mayor próximo, por lo tanto, los puntos de investigación serían 3.

Ilustración 6 Ubicación de las muestras.



Operacionalización de variables

Variables

Variable independiente

- Residuos de construcción y demolición de concreto.

Variable dependiente

- Estabilización de subrasante de baja capacidad portante.

Variables intervinientes

- Análisis granulométrico de los RCD-C.

Tabla 11 Operacionalización de variables

Tipo de variable	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Unidad
Independiente (X)	Residuos de construcción y demolición de concreto	Cantidad de RCD-C	Dosificación de RCD-C: 2%, 5%, 9%, 15%, 25%	Balanza electrónica de aproximación de 0.1g	Porcentaje (%)
Dependiente (Y)	Estabilización de subrasante de baja capacidad portante	Propiedades físicas	Granulometría	Análisis granulométrico por tamizado para las mezclas según MTC E 107.	Porcentaje (%)
			Límite Líquido	Ensayo para determinar límite líquido Malla N° 40 según NTP 339.129 - MTC E 110 - ASTM D4318	Porcentaje (%)
			Límite Plástico	Ensayo para determinar límite plástico Malla N° 40 según NTP 339.129 - MTC E 111 - ASTM D4318	Porcentaje (%)
			Contenido de humedad	Ensayo para determinar el contenido de humedad según NTP 339.127 - MTC E 108 - ASTM D 2216	Porcentaje (%)
		Propiedades mecánicas	Proctor modificado	Ensayo de compactación (Proctor modificado) según NTP 339.141 -MTC E 115 - ASTM D1557	Porcentaje (%) - g/cm ³
			Valor de capacidad de soporte del material (CBR)	Ensayo para determinar CBR y la expansión en el laboratorio según MTC E 132 - ASTM D1883	Porcentaje (%)
		Propiedades químicas	Contenido de sulfatos	Ensayo para determinar del contenido de ión sulfato soluble en las muestras de suelos según NTP 339.178	Porcentaje (%)
			Contenido de cloruros	Ensayo para determinar del contenido de ión cloruro soluble en las muestras de suelos según NTP 339.177	Porcentaje (%)
			Contenido de sales solubles totales	Ensayo para determinar el contenido de sales solubles en las muestras de suelo según NTP 339.152.	Porcentaje (%)
		Intervinientes	Análisis granulométrico de los RCD-C	Propiedad física	Granulometría

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas recolección de datos

El estudio aplicó la técnica de observación directa durante las visitas a campo en área de análisis, la inspección de los residuos de construcción y demolición de concreto y la realización de ensayos de laboratorio.

Instrumentos de recolección de datos

El estudio empleó guías de observación, dado que nos permitió identificar las ideas más resaltantes de la investigación con el fin de manifestar en un análisis documental proveniente de los ensayos de laboratorio, lo cual, generará resultados que luego nos servirá para su análisis.

Se realizarán las guías para los siguientes ensayos de suelos aplicados en muestras alteradas y con diferentes porcentajes de RCD-C.

- Granulometría por tamizado.
- Granulometría por medio del hidrómetro.
- Límites de Atterberg.
- Contenido de humedad.
- Proctor modificado – método “A”.
- Californian Bearing Ratio (CBR).
- Contenido de sulfatos.
- Contenido de cloruros.
- Contenido de sales solubles totales.

Los instrumentos son herramientas además de los equipos que se utilizaron para efectuar ensayos especificados conforme la normativa vigente, los cuales serán ejecutados para cada muestra alterada que se obtengan de las calicatas y para las muestras con adición de RCD-C.

Procedimiento

Obtención de la muestra

En primer lugar, se realizaron visitas a campo con el propósito de observar las particularidades y el estado presente del área de estudio.

Luego se ejecutaron las excavaciones manuales de las 3 calicatas para la extracción de muestras alteradas, la calicata 01 se ubica en las intersecciones de las calles Panamá y Atahualpa, la calicata 02 se ubica entre las calles Argentina y Huáscar, por último, la calicata 03 se ubica entre las calles Santa Martha y Ayacucho (ver anexo 04).

El área de excavación fue de 0.80 m x 1.00 m aproximadamente y con una profundidad de 1.50 m, asimismo cada muestra representativa será de aproximadamente 180 kg para cada calicata y se almacenó en sacos (ver anexo 03).

Ilustración 7 Extracción de la muestra de suelo, calicata C-1.



Por consiguiente, se elaboraron los registros de excavación de cada una de las calicatas:

Tabla 12 Registro de excavación C-01.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.1	A C I E L O A B I E R T O	M - 1	[Diagonal lines symbol]	CH A-7-6 (20)	Arcilla de alta plasticidad Limite líquido : 66.0% Limite plástico : 29.0% Índice de plasticidad : 37.0% Humedad natural : 21.0%
0.10					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.50					
1.6					
1.7					
1.8					

Tabla 13 Registro de excavación C-02.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.1	A C I E L O A B I E R T O	M - 1	[Vertical lines symbol]	MH A-7-5 (20)	Limo de alta plasticidad Limite líquido : 60.0% Limite plástico : 31.0% Índice de plasticidad : 29.0% Humedad natural : 23.0%
0.10					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.50					
1.6					
1.7					
1.8					

Tabla 14 Registro de excavación C-03.

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra Nº	Símbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (IN-SITU)
0.1	A C I E L O A B I E R T O	M - 1	[Vertical lines symbol]	MH A-7-5 (13)	Limo de alta plasticidad , de color gris claro de consistencia rígida Limite líquido : 69.0% Limite plástico : 57.0% Índice de plasticidad : 12.0% Humedad natural : 23.0%
0.10					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.50					
1.6					
1.7					
1.8					

Las muestras representativas almacenadas se llevaron al laboratorio para preparar las muestras y realizar los ensayos mencionados anteriormente.

Para la obtención de la muestra de RCD-C se recolectó una muestra de 30 kg aproximadamente del botadero localizado en intersección de carretera Chiclayo – San José y vía de evitamiento, se almacenó en sacos para su posterior tratamiento y realización de los ensayos respectivos.

Ilustración 8 Recolección de la muestra de RCD-C.



Contenido de humedad

Primero se pesó 1000 gr de muestras húmedas en su estado natural (W_w) de 3 calicatas (excluyendo el peso de la tara). Luego se colocó en el horno durante 24 horas para volver a pesar la muestra y obtener su peso seco (W_s).

Ilustración 9 Contenido de humedad.



Análisis Granulométrico por tamizado

Se pesó una muestra representativa (obtenida mediante el cuarteo de suelo) y se llevó al horno durante 24 horas. Luego se realizó un lavado por malla N°200 y se llevó nuevamente al horno por otras 24 horas. Después de haberse sacado muestra del horno, se dejó enfriar y se pesó, todo ello permitió conseguir peso lavado y secado al horno. Finalmente se procede a tamizar la muestra y pesar el material retenido en cada tamiz.

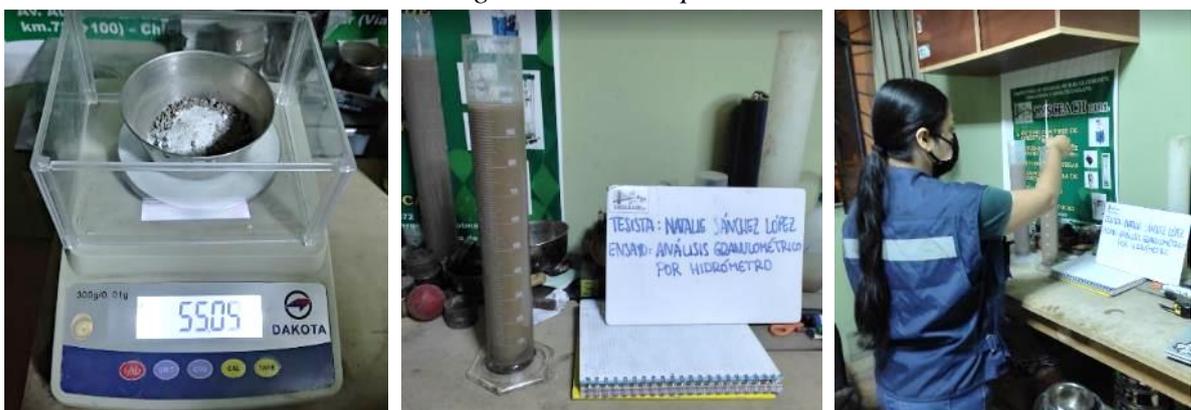
Ilustración 10 Análisis Granulométrico por tamizado.



Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro

Se preparó la muestra secándola en el horno, tamizándola por malla N°10 y tomando 50 gr. de muestra. Se preparó la solución agua más defloculante, se pesó 5 gr. de defloculante y se midió 125 ml. de agua destilada para luego mezclar ambos componentes. Después se mezcla la muestra con la solución y se dejó reposar por 24 horas. Luego de reposar se batió la mezcla con 125 ml de agua destilada por 15 min aproximadamente. Posteriormente se vertió la mezcla en cilindro de sedimentación y se le añadió agua destilada hasta completar 1000 ml. para luego agitarlo manualmente por un minuto. Finalmente se colocó el hidrómetro además se inició la toma de información, siendo así que en cada lectura también se leyó la temperatura.

Ilustración 11 Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.



Límites de Atterberg

Límite Líquido

Se preparó muestra seca de 150 a 200 gr. pasante del tamiz N°. 40 en un recipiente y se le añadió una cantidad de agua destilada, luego se mezcló con apoyo de una espátula hasta conseguir una homogénea mezcla para ser colocada en la parte central de Copa de Casagrande, se niveló superficie y con ayuda del acanalador se pasó por centro de copa para segmentar en 2 la muestra de suelo. Después se suministraron los golpes necesarios para cerrar la ranura hecha por el acanalador, cuando se logró se registraron cantidad de golpes y se consideró una muestra de parte central de Copa de Casagrande, finalmente es llevó al horno con la finalidad de determinar el contenido de humedad. Este procedimiento se repitió con 3 muestras más para contar con 4 puntos diferente de porcentajes de contenido de humedad.

Ilustración 12 Límite líquido



Límite Plástico

Se seleccionó 20 gr. aproximadamente de muestra preparada para el límite líquido, luego se amasó y se dejó reducir la humedad hasta tener una consistencia en la cual se puedan hacer rollitos sobre la placa de vidrio sin pegarse a las manos. Se tomó de 1.5 a 2 gr. de la muestra preparada y se hicieron rollitos de un diámetro uniforme de 3.2 mm hasta que aparecen grietas o el rollito se quiebra, sino se observó agrietamiento se vuelve a amasar y a formar los rollitos; los rollitos seleccionados son llevados al horno para establecer el porcentaje de contenido de humedad. Este proceso se volvió a repetir con una muestra más de masa mínima de 6gr (3 o 4 rollitos por muestra).

Ilustración 13 Límite plástico

Proctor Modificado

Se preparó cuatro especímenes de 3 kg. dado que el método a utilizar es el “método A”, la muestra estuvo seca, disgregada y pasó el tamiz N°. 4. Luego se determinó la masa además del volumen del molde de 4”, se colocó la primera capa en el molde y se le efectuaron 25 golpes, lo mismo se realizó con las 4 capas restantes teniendo en cuenta que las capas deben tener el mismo espesor y una relación uniforme de golpes (25 golpes/minuto). La última capa quedó en el collarín para que luego pueda enrasarse. Después se determinó y registró la masa del espécimen, luego se extrajo una porción de la muestra para determinar el porcentaje de contenido de humedad. Finalmente se llevó la muestra al horno y se repitió el mismo proceso para tener 4 puntos compactados a diferentes porcentajes de contenido de humedad (2 puntos al lado seco de la curva y 2 puntos al lado húmedo).

Ilustración 14 Proctor modificado

California Bearing Ratio

Fase de compactación

Teniendo la humedad óptima y la MDS mediante ensayo de Proctor Modificado, se tomó una muestra de 5 kg. por cada molde de CBR también se halló la humedad natural de la muestra para añadirle la cantidad de agua necesaria a la muestra.

El molde se pesa con su base, luego se procede a colocar el collar, el disco espaciador y, encima de este, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Una vez que el molde ha sido debidamente preparado, se inicia el proceso de compactación del espécimen utilizando la cantidad precisa de agua y energía necesaria para lograr la humedad y densidad deseadas en el suelo. En este ensayo, se realizaron 56, 25 y 10 golpes por capa, utilizando el equipo de compactación estándar (OCH). Después de completar la compactación, se procedió a retirar el collar del molde y nivelar el espécimen. Finalmente, el molde fue desmontado, se colocó boca abajo sin el disco separador y se intercaló un papel filtro entre el molde y la base.

Ilustración 15 CBR - fase de compactación.



Fase de inmersión

El proceso comenzó con la toma de la lectura inicial con el objetivo de determinar el grado de expansión. El molde fue sumergido completamente en agua, permitiendo que el agua tuviera acceso a ambas partes de la muestra. La muestra se mantuvo en estas condiciones durante un período de 96 horas. Posteriormente, se realizaron mediciones del grado de expansión cada 24 horas. Al concluir el período de inmersión, se retiró la muestra del contenedor de agua, se eliminó el exceso de agua de la parte superior del

molde y se permitió que el agua se drenara del molde durante 15 minutos. Luego, se retiró la sobrecarga y la placa perforada, y se procedió a pesar la muestra.

Ilustración 16 Ensayo de CBR – fase inmersión



Fase de penetración

En esta etapa, se ejerció una fuerza sobre el pistón de penetración utilizando el mecanismo adecuado de la prensa, a una velocidad constante de 1,27 mm (0,05") por minuto. Finalmente, el molde se retiró y se extrajo una muestra con el fin de analizar su contenido de humedad.

Ilustración 17 Ensayo de CBR – prensa de carga



Propuesta de un procedimiento para clasificación de RCD

RCD Los RCD son clasificados en dos grupos: residuos no peligrosos o residuos aprovechables y los residuos peligroso o no aprovechables, como se muestra en la tabla 14. Por ello, la propuesta es separar los RCD según el material de que estén hechos, respetando la clasificación mencionada con la finalidad de poder acceder a estos residuos de manera sencilla y segura para su aprovechamiento.

Tabla 15: Propuesta de clasificación de los RCD.

Clase		Descripción
Residuos de la Construcción y Demolición (RCD)	Residuos no peligrosos (Residuos aprovechables)	Residuos minerales
		Otros no peligrosos
	Residuos peligrosos (Residuos no aprovechables)	

Mezcla de:
Concreto
Ladrillo
Yeso
Cerámicos
Mampostería
Tierras, rocas y materiales similares provenientes de obras de construcción y demolición
Mezcla de:
Vidrio (ventanas)
Cartón y papel
Plásticos (embalaje, tubos)
Metales
Madera no tratada
Materiales similares provenientes de obras de construcción y demolición
Maderas tratadas (pintadas, preservadas, plastificadas, etc) provenientes de obras de construcción y demolición, marco de ventanas, vigas
Conjunto de residuos peligrosos provenientes de obras de construcción y demolición (sin madera tratada), envases de pintura, removedores de pinturas o solventes, tubos fluorescentes, latas de aerosoles y planchas de fibrocemento con asbesto

La situación encontrada en el botadero localizado en intersección de carretera Chiclayo – San José y la vía de evitamiento fue favorecedora para la obtención de la muestra de RCD-C debido a que se encontraban separados en montículos. Siendo posible clasificar los RCD a mediante la observación directa.

Ilustración 18 Montículos de RCD-C en el botadero



Para la obtención de la muestra de RCD-C se tuvo en consideración un tamaño promedio no inferior de 10 cm a fin de evitar que se encuentren contaminado con otro tipo de residuos, de igual manera la muestra recolectada pasará por un tratamiento.

Tratamiento de la muestra de RCD-C

Teniendo la muestra de RCD-C almacenada en sacos, se extendió la muestra en una superficie limpia y se procedió a lavarla con la finalidad de limpiarla de las partículas finas adheridas. Luego la muestra de RCD-C fue expuesta al sol para su posterior secado.

Ilustración 19 Lavado y secado de la muestra de RCD-C



Después se procedió a triturar manual la muestra de RCD-C.

Ilustración 20 Trituración manual de la muestra de RCD-C



Finalmente, se realizó el tamizado a la muestra, seleccionando lo pasante por la malla N° 80 y se almacenó 30 kg aproximadamente un saco para ser llevado al laboratorio.

Ilustración 21 Tamizado de la muestra de RCD-C



Preparación de las muestras con RCD-C

Después de haber realizado los ensayos anteriormente mencionados a las muestras de suelo se evidenció que la calicata N°. 1 presentó 1.0% de CBR al 95% de la M.D.S, siendo el menor valor de CBR obtenido entre las calicatas ensayadas. Por lo tanto, se decidió estudiar la calicata N°1 con la adición de 2%, 5%, 9%, 15% y 25% de RCD-C.

Siendo así, se realizó preparación de la muestra con los porcentajes de RCD-C mencionados anteriormente teniendo en cuenta que se tuvo una masa total de 140 kg de la calita N°1 y son 5 combinaciones, por consiguiente, para cada muestra le corresponde 28 kg de muestra de suelo con las siguientes masas de adición de RCD-C:

- ✓ Se halló la masa seca, teniendo en cuenta el valor de Contenido de Humedad Natural de la calicata N°1 ($W=21\%$).

$$W = \frac{W_w}{W_s} \qquad W_s = 28 - W_w$$

$$0.21 = \frac{W_w}{28 - W_w} \qquad W_s = 28 - 4.860$$

$$W_w = 4.860 \text{ kg} \qquad W_s = 23.140 \text{ kg}$$

- ✓ Para la M-2 con 2% de adición de RCD-C.

$$RCD - C = 2\%W_s$$

$$RCD - C = 0.02(23.140)$$

$$RCD - C = 0.463 \text{ kg}$$

- ✓ Para la M-3 con 5% de adición de RCD-C.

$$RCD - C = 5\%W_s$$

$$RCD - C = 0.05(23.140)$$

$$RCD - C = 1.157 \text{ kg}$$

- ✓ Para la M-4 con 9% de adición de RCD-C.

$$RCD - C = 9\%W_s$$

$$RCD - C = 0.09(23.140)$$

$$RCD - C = 2.083 \text{ kg}$$

- ✓ Para la M-5 con 15% de adición de RCD-C.

$$RCD - C = 15\%W_s$$

$$RCD - C = 0.15(23.140)$$

$$RCD - C = 3.471 \text{ kg}$$

- ✓ Para la M-6 con 25% de adición de RCD-C.

$$RCD - C = 25\%W_s$$

$$RCD - C = 0.25(23.140)$$

$$RCD - C = 5.785 \text{ kg}$$

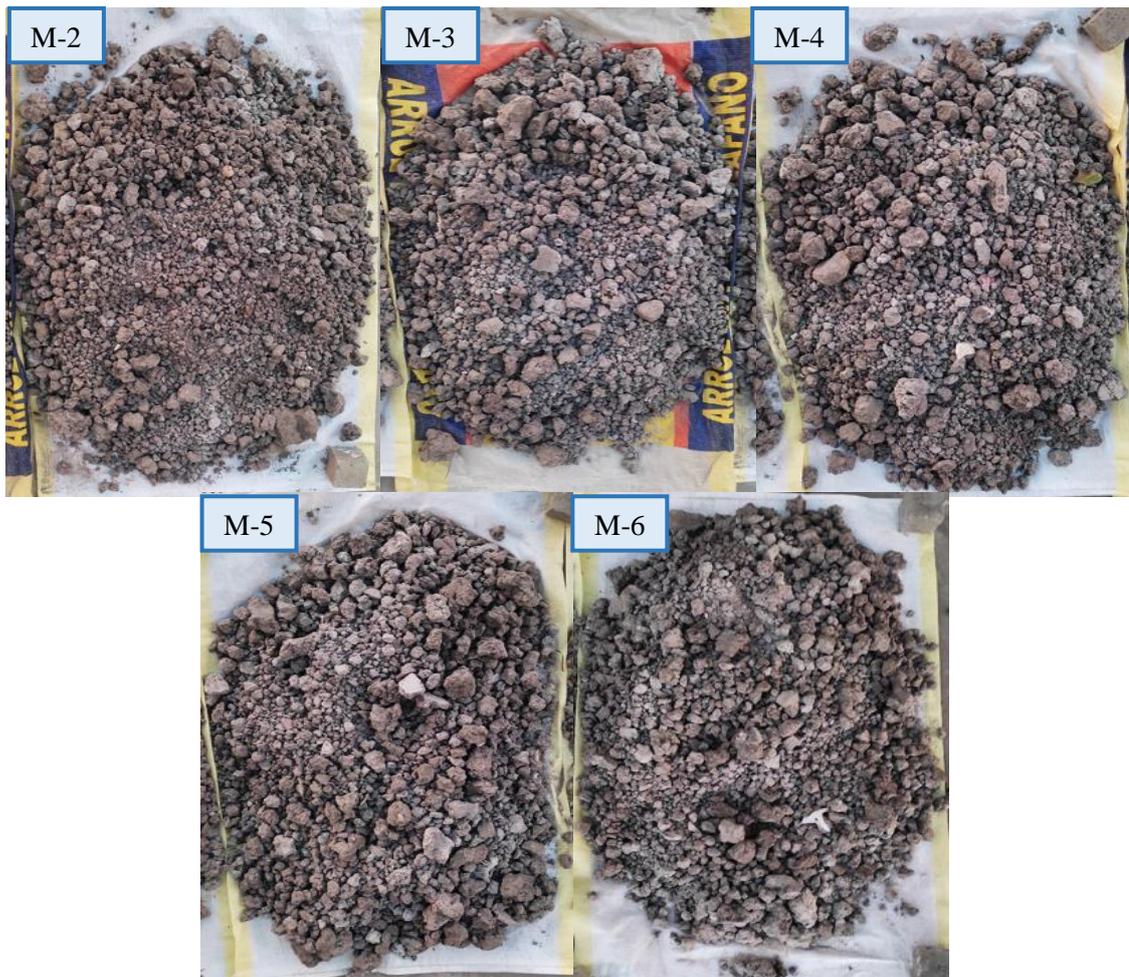
Luego de hallar las masas de las adiciones de RCD-C, se procedió a pesar el RCD-C para realizar las muestras M-2, M-3, M-4, M-5 y M-6.

Ilustración 23 Masas de 2%, 5%, 9%, 15% y 25% de RCD-C



Después se prepararon las muestras con los porcentajes correspondientes y se llevaron al laboratorio, en el cual se efectuaron los ensayos a la M-1 de la calicata N°1.

Ilustración 25 Preparación de M-2, M-3, M-4, M-5 y M-6



Análisis Granulométrico por Tamizado del RCD-C

Se utiliza una muestra del RCD-C pasante del tamiz N°. 80, se utilizaron los tamices N°. 80, N°. 100, N°. 200 y fondo.

Ilustración 26 Análisis Granulométrico por Tamizado del RCD-C



Se realizaron los mismos ensayos para las muestras con adición de RCD-C.

Resultados y discusión

Resultados

Contenido de Humedad de las muestras naturales

En la tabla 16 se presentan los hallazgos del ensayo de contenido de humedad realizado a las 3 calicatas (muestras patrón), siendo la profundidad de exploración 1.50m.

Tabla 16 Resumen del contenido de humedad de muestras naturales

Contenido de humedad			
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Humedad W(%)
C-1	M-1	0 - 1.50	21
C-2	M-1	0 - 1.50	23
C-3	M-1	0 - 1.50	23

Análisis Granulométrico por tamizado de muestras naturales

En tabla 17 se detallan los hallazgos de porcentajes que pasan el tamiz N°.200 y el tamiz N°4, así como el porcentaje de material pertinente a grava, arena además limo-arcilla. de las tres calicatas (muestras patrón).

Tabla 17 Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de las muestras

Análisis granulométrico por tamizado							
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa N°. 200	% Que pasa N°. 4	Distribución Granulométrica		
					% Grava	% Arena	% Limo y Arcilla
C-1	M-1	0 - 1.50	91.7	99.4	0.6	7.8	91.7
C-2	M-1	0 - 1.50	91.4	99.6	0.4	8.2	91.4
C-3	M-1	0 - 1.50	90.8	99.8	0.2	9.0	90.8

A continuación, se detallan los hallazgos de curvas granulométricas para la muestra M-1 de cada calicata.

Gráfico 1 Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 1

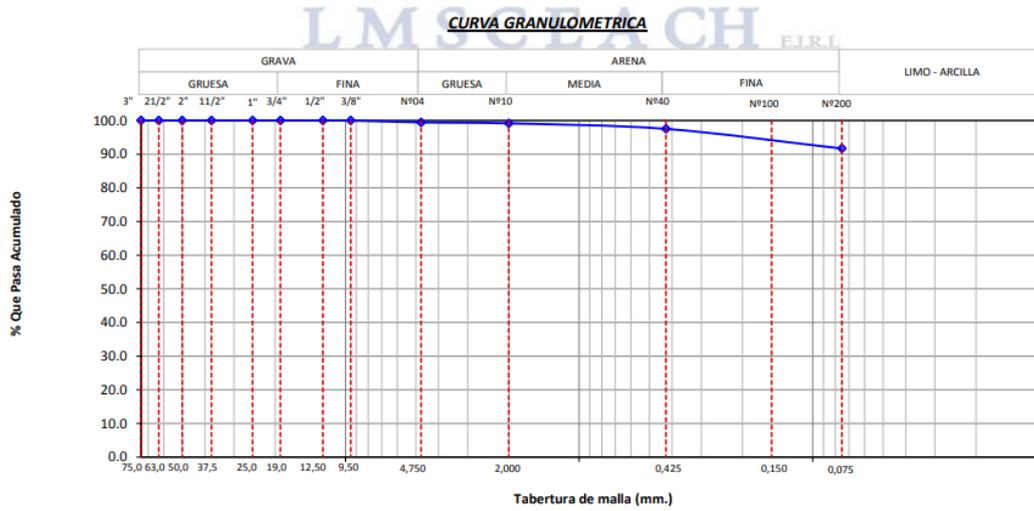


Gráfico 2 Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 2

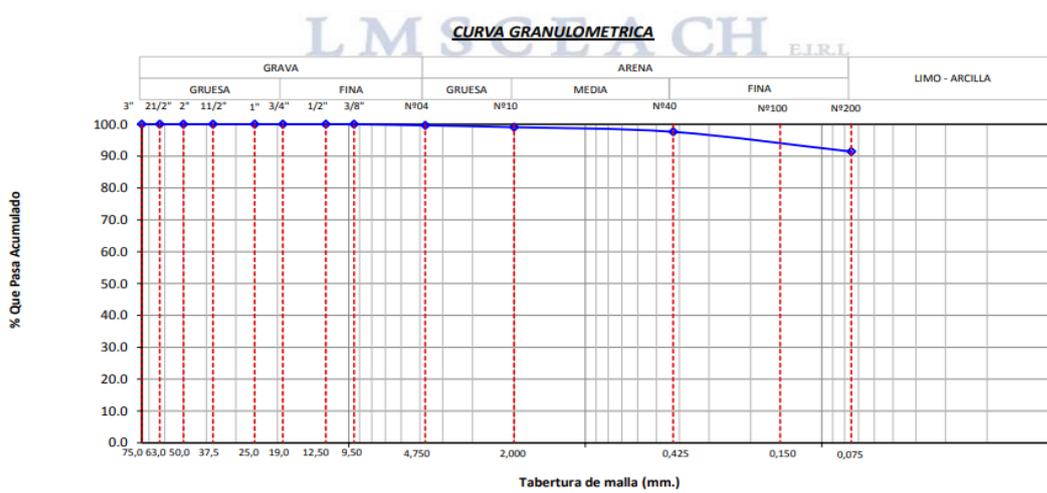
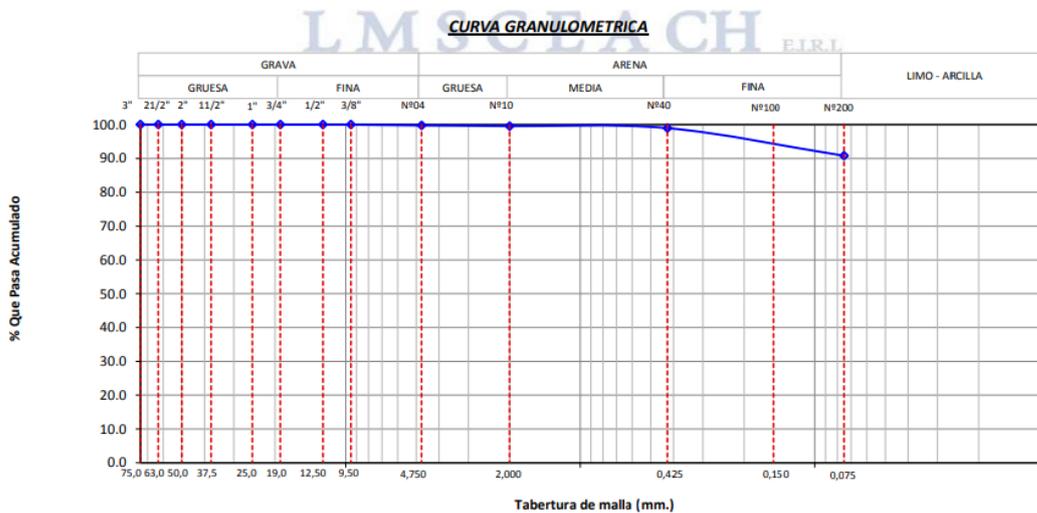


Gráfico 3 Curva granulométrica de muestra M-1 de calicata 3



Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro de las muestras naturales

En tabla 18 se detalla el resumen del estudio granulométrico por medio del hidrómetro, se detalla porcentaje pasante en diámetros especificados.

Tabla 18 Resumen de los análisis granulométricos por medio del hidrómetro de las muestras naturales

Análisis granulométrico por medio del hidrómetro					
Calicata 1 M-1		Calicata 2 M-1		Calicata 3 M-1	
diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa
0.0457	102.45	0.0419	234.50	0.0439	161.50
0.0327	85.66	0.0299	221.83	0.0312	150.94
0.0236	62.91	0.0213	209.49	0.0225	121.21
0.0168	55.98	0.0152	197.48	0.0161	11.96
0.0123	55.98	0.0112	185.81	0.0118	103.03
0.0091	43.08	0.0083	163.44	0.0087	86.15
0.0065	37.12	0.0059	163.44	0.0062	78.19
0.0046	31.48	0.0043	122.67	0.0044	70.57
0.0033	26.17	0.0031	104.27	0.0032	56.30
0.0027	21.18	0.0026	71.42	0.0026	49.65
0.0019	21.18	0.0019	43.85	0.0019	43.33
0.0014	21.18	0.0013	43.85	0.0013	31.66

Límites de Atterberg de muestras naturales

En la tabla 19 se muestran la síntesis de ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Tabla 19 Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad					
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	M-1	0 - 1.50	66	29	37
C-2	M-1	0 - 1.50	60	31	29
C-3	M-1	0 - 1.50	69	57	12

Clasificación de los suelos método SUCS de las muestras naturales

En tabla 20 se detalla la síntesis de categorización de suelos en sistema SUCS. Se consideró la granulometría por tamizado teniendo en cuenta porcentajes pasantes de los tamices N°. 4 y N°. 200 y particularidades plásticas.

Tabla 20 Clasificación de suelos en sistema SUCS de las muestras naturales

Clasificación de suelos en el sistema SUCS			
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS
C-1	M-1	0 - 1.50	CH - Arcilla de alta plasticidad
C-2	M-1	0 - 1.50	MH - Limo de alta plasticidad
C-3	M-1	0 - 1.50	MH - Limo de alta plasticidad

Clasificación de los suelos método AASHTO de las muestras naturales

En tabla 21 se detalla la síntesis de clasificación de suelos en el sistema AASHTO. Se tomó en consideración la granulometría por tamizado (porcentajes pasantes de los tamices N°. 10, N°. 40 y N°. 200), características plásticas e índice de grupo.

Tabla 21 Clasificación de suelos en el sistema AASHTO de las muestras naturales

Clasificación de suelos en el sistema AASHTO						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Grupo	AASHTO		
				Clasificación General	Constituyentes principales	Característica de subgrado
C-1	M-1	0 - 1.50	A-7-6(20)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
C-2	M-1	0 - 1.50	A-7-5(20)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
C-3	M-1	0 - 1.50	A-7-5(13)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo

Proctor Modificado de las muestras naturales

En la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado – método “A” para las M-1 de cada calicata.

Tabla 22 Resumen de Proctor modificado de muestras naturales

Proctor modificado - Método "A"				
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
C-1	M-1	0 - 1.50	1.652	12.31
C-2	M-1	0 - 1.50	1.632	15.56
C-3	M-1	0 - 1.50	1.637	12.93

California Bearing Ratio de las muestras naturales

En la tabla 23 se detallan los hallazgos de ensayos de CBR de las M-1 de cada calicata para una penetración de 0.1" y 0.2" al 95% y 100% de la MDS.

Tabla 23 Resumen de resultados de CBR de muestras naturales

California Bearing Ratio						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Valor del CBR			
			Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
			95 % de la MDS	100% de la MDS	95 % de la MDS	100% de la MDS
C-1	M-1	0 - 1.50	1.0%	1.5%	1.0%	1.4%
C-2	M-1	0 - 1.50	1.7%	2.1%	1.6%	2.1%
C-3	M-1	0 - 1.50	1.9%	2.1%	1.9%	1.9%

Ensayos Químicos de las muestras naturales

En la tabla 24 se detalla la síntesis de ensayos de contenido de sulfatos, contenido de cloruros y contenido de sales totales solubles de las M-1 de cada calicata.

Tabla 24 Resumen de resultados de ensayos químicos de las muestras naturales

Ensayos Químicos					
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Contenido de sulfatos	Contenido de cloruros	Contenido de sales solubles totales
			ppm	ppm	ppm
C-1	M-1	0 - 1.50	426	789	1350
C-2	M-1	0 - 1.50	462	650	1256
C-3	M-1	0 - 1.50	512	769	1250

Análisis Granulométrico por Tamizado del RCD-C

En tabla 25 se detallan los hallazgos de porcentajes que pasan el tamiz N°.80 de la muestra de RCD-C. muestra porcentaje de material pertinente a grava, arena y limo-arcilla de muestra de RCD-C.

Tabla 25 Resumen de análisis granulométrico por tamizado del RCD-C

Análisis Granulométrico por tamizado del RCD-C						
Muestra	Tamiz	mm	% Que pasa	Distribución Granulométrica		
				% Grava	% Arena	% Limo y Arcilla
RCD-C	N°80	0.177	100.0	0	35.9	64.1
	N°100	0.150	74.7			
	N°200	0.075	64.1			

Ensayos Químicos

En la tabla 26 se detalla la síntesis de ensayos de contenido de sulfatos, contenido de cloruros y contenido de sales totales solubles de la muestra de RCD-C.

Tabla 26 Resumen de los resultados de ensayos químicos del RCD-C

Ensayos Químicos del RCD-C			
Muestra	Contenido de sulfatos	Contenido de cloruros	Contenido de sales solubles totales
	ppm	ppm	ppm
RCD-C	980	1056	14850

Análisis Granulométrico por tamizado de muestras con adición de RCD-C

En la tabla 27 se detallan los hallazgos de porcentajes que pasan el tamiz N°.200 y el tamiz N°4, así como el porcentaje de material pertinente a grava, arena y limo-arcilla de las cinco muestras de la C-1.

Tabla 27 Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de muestras con adición de RCD-C

Análisis granulométrico por tamizado						
Calicata	Muestra	% Que pasa N°. 200	% Que pasa N°. 4	Distribución Granulométrica		
				% Grava	% Arena	% Limo y Arcilla
C-1	M-2	81.1	99.4	0.6	18.3	81.1
	M-3	78.7	99.5	0.5	20.8	78.7
	M-4	76.0	99.5	0.5	23.5	76.0
	M-5	71.7	99.5	0.5	27.8	71.7
	M-6	68.9	99.5	0.5	30.6	68.9

Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro de muestras con adición de RCD-C

En tabla 28 se muestra resumen del estudio granulométrico por medio del hidrómetro de las adiciones de RCD-C, se detalla el porcentaje pasante en diámetros señalados.

Tabla 28 Resumen de los análisis granulométricos por medio del hidrómetro de muestras con adición de RCD-C

Análisis granulométrico por medio del hidrómetro									
Calicata 1									
M-2		M-3		M-4		M-5		M-6	
diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa	diámetro (mm)	% Que pasa
0.0445	125.01	0.0457	91.54	0.0432	152.86	0.0419	182.00	0.0463	65.02
0.0319	107.69	0.0332	62.70	0.0315	117.15	0.0306	144.21	0.0332	53.27
0.2290	91.54	0.0237	50.02	0.0222	117.15	0.0222	110.52	0.0237	42.49
0.1660	62.70	0.0168	50.02	0.0164	71.73	0.0162	80.93	0.0170	32.70
0.0124	38.49	0.0124	38.49	0.012	71.73	0.0121	55.43	0.0126	23.90
0.0091	38.49	0.0091	38.49	0.0089	58.76	0.0089	55.43	0.0093	16.08
0.0064	38.49	0.0065	28.13	0.0063	58.76	0.0063	55.43	0.0066	9.24
0.0045	38.49	0.0046	28.13	0.0045	46.87	0.0044	55.43	0.0048	3.39
0.0032	38.49	0.0032	28.13	0.0032	46.87	0.0031	55.43	0.0034	3.39
0.0026	38.49	0.0027	28.13	0.0026	46.87	0.0026	55.43	0.0027	3.39
0.0019	38.49	0.0019	28.13	0.0018	46.87	0.0018	55.43	0.0019	3.39
0.0013	38.49	0.0013	28.13	0.0013	46.87	0.0013	55.43	0.0014	3.39

Límites de Atterberg de muestras con adición de RCD-C

En tabla 29 se detalla la síntesis de límites de Atterberg de muestras con adición de RCD-C.

Tabla 29 Resumen de ensayos de límites de Atterberg de muestras con adición de RCD-C

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad				
Calicata	Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	M-2	49	22	27
	M-3	48	22	26
	M-4	41	21	20
	M-5	33	15	18
	M-6	32	17	15

Clasificación del suelo por método SUCS de muestras con adición de RCD-C

En la tabla 30 se detalla la síntesis de clasificación de suelos en sistema SUCS de muestras con adición de RCD-C. Se consideró la granulometría por tamizado teniendo en cuenta porcentajes pasantes de los tamices N°. 4 y N°. 200 y las particularidades plásticas.

Tabla 30 Clasificación de suelos en el sistema SUCS de las muestras con adición de RCD-C

Clasificación de suelos en el sistema SUCS		
Calicata	Muestra	SUCS
C-1	M-2	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena
	M-3	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena
	M-4	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena
	M-5	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena
	M-6	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena

Clasificación del suelo por método AASHTO de las muestras con adición de RCD-C

En la tabla 31 se detalla la síntesis de clasificación de suelos en sistema AASHTO de las muestras con adición de RCD-C. Se abarcó la granulometría por tamizado (porcentajes pasantes de los tamices N°. 10, N°. 40 y N°. 200), características plásticas e índice de grupo.

Tabla 31 Clasificación de suelos en el sistema AASHTO de las muestras con adición de RCD-C

Clasificación de suelos en el sistema AASHTO					
Calicata	Muestra	Grupo	AASHTO		
			Clasificación General	Constituyentes principales	Característica de subgrado
C-1	M-2	A-7-6(17)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
	M-3	A-7-6(17)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
	M-4	A-7-6(12)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
	M-5	A-6(11)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo
	M-6	A-6(9)	Material limoso arcilloso	Suelos arcillosos	Pobre a malo

Proctor Modificado de muestras con adición de RCD-C

En la tabla 32 se muestran los hallazgos de ensayos de Proctor modificado – método “A” para muestras con adiciones de RCD-C.

Tabla 32 Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de RCD-C

Proctor modificado - Método "A"				
Calicata	Muestra	% RCD-C	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
C-1	M-2	2	1.683	14.92
	M-3	5	1.685	15.25
	M-4	9	1.689	15.83
	M-5	15	1.702	15.94
	M-6	25	1.713	16.10

California Bearing Ratio de las muestras con adición de RCD-C

En la tabla 33 se muestran hallazgos de ensayos de CBR para muestras con adición de RCD-C.

Tabla 33 Resumen de los CBR de las muestras con adición de RCD-C

Californian Bearing Ratio					
Calicata	Muestra	Valor del CBR			
		Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
		95 % de la MDS	100% de la MDS	95 % de la MDS	100% de la MDS
C-1	M-2	3.1%	3.5%	3.1%	3.3%
	M-3	3.3%	5.6%	5.2%	8.1%
	M-4	5.6%	6.5%	6.0%	7.6%
	M-5	6.4%	11.6%	7.6%	12.3%
	M-6	8.1%	10.1%	9.7%	12.5%

Ensayos Químicos de las muestras con adición de RCD-C

En tabla 34 se muestran la síntesis de ensayos químicos para 6 muestras con adición de RCD-C.

Tabla 34 Resumen de los resultados de los ensayos químicos de las muestras con adición de RCD-C

Ensayos Químicos				
Calicata	Muestra	Contenido de sulfatos	Contenido de cloruros	Contenido de sales solubles totales
		ppm	ppm	ppm
C-1	M-2	524	759	1450
	M-3	542	685	1345
	M-4	526	812	1412
	M-5	645	956	1495
	M-6	526	819	1452

Resumen de ensayos realizados

Tabla 35 Resumen de ensayos

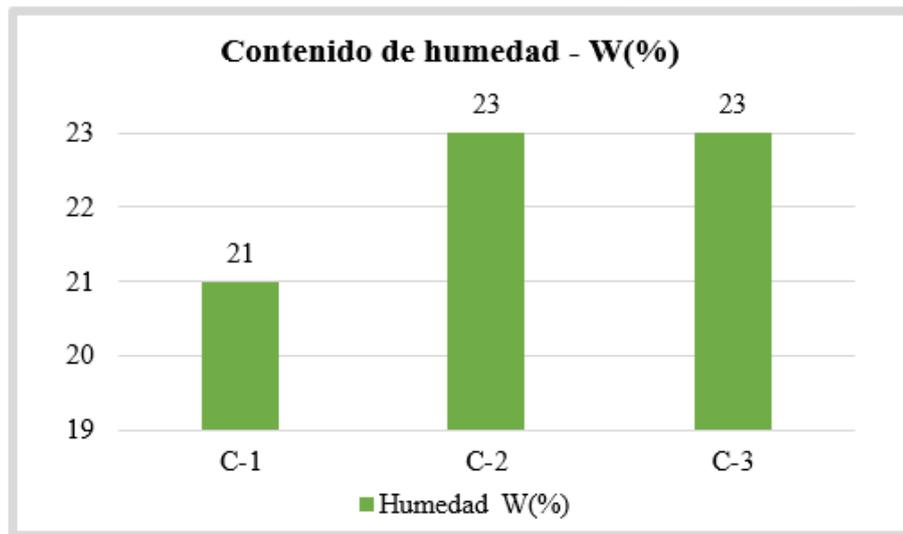
Calicata	Muestra	Dosificación	Distribución			Contenido de Humedad Natural (%)	Índice de Plasticidad	Clasificación del suelo		Proctor modificado		CBR - 0.1"		Ensayos Químicos		
			% Grava	% Arena	% Limo y Arcilla			SUCS	AASHTO	Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	Óptimo Contenido de Humedad (%)	95 % MDS	100% MDS	Contenido de sulfatos (ppm)	Contenido de cloruros (ppm)	Contenido de sales solubles totales (ppm)
C-1	M-1	Natural	0.6	7.8	91.7	21	37	CH - Arcilla de alta plasticidad	A-7-6(20)	1.652	12.31	1.0%	1.5%	426	789	1350
	M-2	2% RCD-C	0.6	18.3	81.1	-	27	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena	A-7-6(17)	1.683	14.92	3.1%	3.5%	524	759	1450
	M-3	5% RCD-C	0.5	20.8	78.7	-	26	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena	A-7-6(17)	1.685	15.25	3.3%	5.6%	542	685	1345
	M-4	9% RCD-C	0.5	23.5	76.0	-	20	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena	A-7-6(12)	1.689	15.83	5.6%	6.5%	526	812	1412
	M-5	15% RCD-C	0.5	27.8	71.7	-	18	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(11)	1.702	15.94	6.4%	11.6%	645	956	1495
	M-6	25% RCD-C	0.5	30.6	68.9	-	15	CL - Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(9)	1.713	16.10	8.1%	10.1%	526	819	1452
C-2	M-1	Natural	0.4	8.2	91.4	23	29	MH - Limo de alta plasticidad	A-7-5(20)	1.632	15.56	1.7%	2.1%	462	650	1256
C-3	M-1	Natural	0.2	9.0	90.8	23	12	MH - Limo de alta plasticidad	A-7-5(13)	1.637	12.93	1.9%	2.1%	512	769	1250

Discusión

Contenido de humedad natural de muestras naturales

En el gráfico 4 se observa que las muestras de las calicatas C-2 y C-3 presenta el mismo porcentaje de contenido de humedad de 23% y muestra de calicata C-1 detalla un porcentaje de humedad menor con 21%.

Gráfico 4 Resumen de contenido de humedad de muestras naturales



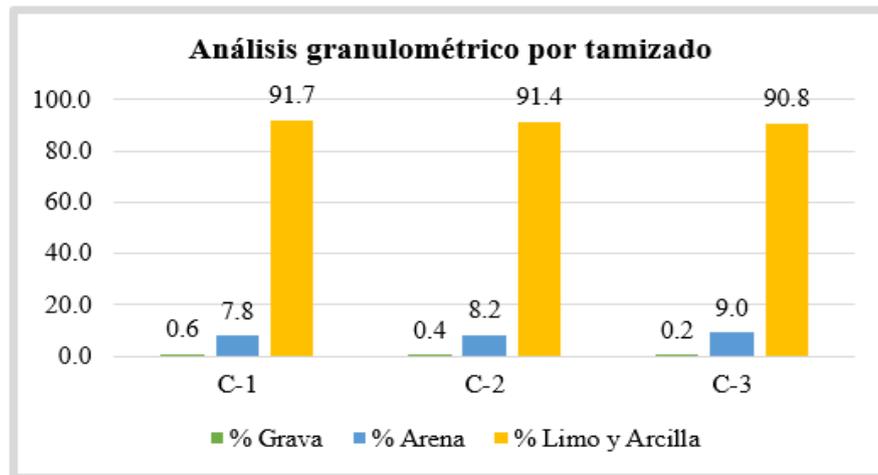
Los resultados obtenidos del análisis del contenido de humedad en la muestra estándar nos permiten efectuar una comparación con el nivel óptimo de humedad determinado en el ensayo de proctor modificado para cada muestra que contenga RCD-C agregado. Si la humedad natural presente en el suelo es menor que la humedad óptima, será necesario añadir agua durante el proceso de compactación. Por otro lado, si la humedad natural es igual o mayor que la humedad óptima, se debe realizar una evaluación de la saturación del suelo [20].

Análisis Granulométrico por tamizado de las muestras naturales

En el gráfico 5 se puede apreciar que más del 90% en las todas las muestras de las calicatas pasa la malla N°. 200 lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso.

Con los resultados obtenidos en el análisis granulométrico, se puede observar que todas las muestras de las calicatas pasan en más del 50% por la malla #200 para la metodología SUCS y más del 35% para la metodología AASHTO, dichas partículas pasantes corresponden a partículas o grano fino.

Gráfico 5 Resumen del análisis granulométrico por tamizado de muestras naturales



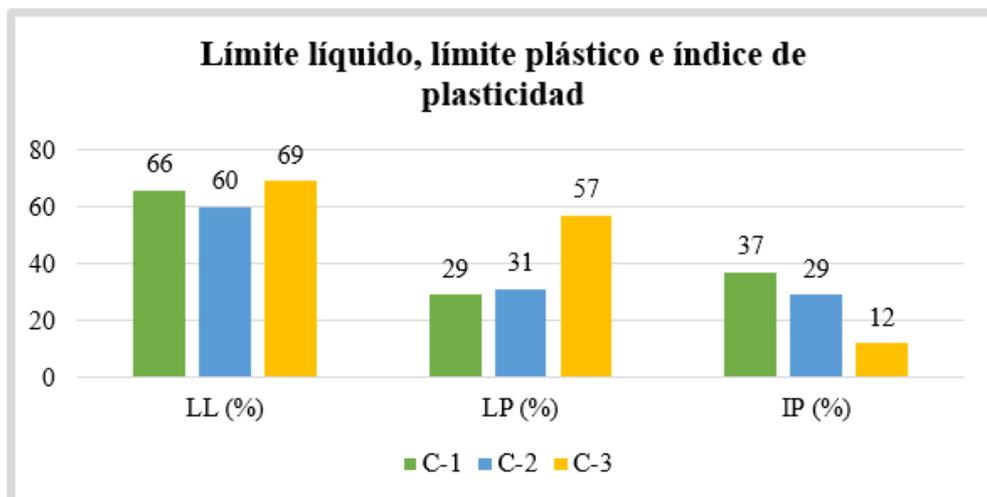
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro de las muestras naturales

En la tabla 18 se presentan los diámetros y los porcentajes que pasan para cada una de las calicatas. Para la calicata C-1 el diámetro mayor es 0.047 mm y el diámetro menor es 0.0014 mm; para la calicata C-2 se tiene 0.0419 mm y 0.0013 mm, respectivamente; y para la calicata C-3, 0.0439 mm y 0.0013 mm respectivamente.

Límites de Atterberg de las muestras naturales

En el gráfico 6 se puede apreciar que las muestras de calicatas C-1 y C-2 detallan un índice de plasticidad de 37 y 29, respectivamente; según [20] pertenece a una clasificación de plasticidad alta siendo una particularidad de suelos muy arcillosos, y muestra de calicata C-3 con un índice de plasticidad 12 se encuentra en la categoría de plasticidad media siendo característica de los suelos arcillosos.

Gráfico 6 Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales



Clasificación del suelo por método SUCS y AASHTO de las muestras naturales

Basándonos en los resultados obtenidos a través del tamizado para la granulometría y los límites de Atterberg, el suelo se categoriza de acuerdo a las metodologías SUCS y AASHTO. Esta clasificación se detalla en las tablas 20 y 21. En ambas metodologías, el suelo se clasifica como de partículas finas y tiene características arcillosas y limosas.

Con respecto al índice de grupo hallado para muestras de las calicatas C-1, C-2 y C-3 se tiene los valores de 20,20 y 13 respectivamente. Si el índice de grupo es mayor a 9 (con en todas las muestras) significa que el suelo es muy malo.

Proctor Modificado de las muestras naturales

En gráfico 7 se detallan valores OCH la muestra de la calicata C-2 presenta el máximo valor de 15.56% y las muestras de calicatas C-1 y C-3 presentan 12.31% y 12.93% respectivamente y en el gráfico 8 se muestran la MDS de cada muestra de cada calicata, se visualiza que la muestra de calicata C-1 detalla el máximo valor con 1.652 gr/cm³ y las muestras de las calicatas C-2 y C-3 presentan un valor similar de 1.632 gr/cm³ y 1.637 gr/cm³ correspondientemente.

Gráfico 7 Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - OCH

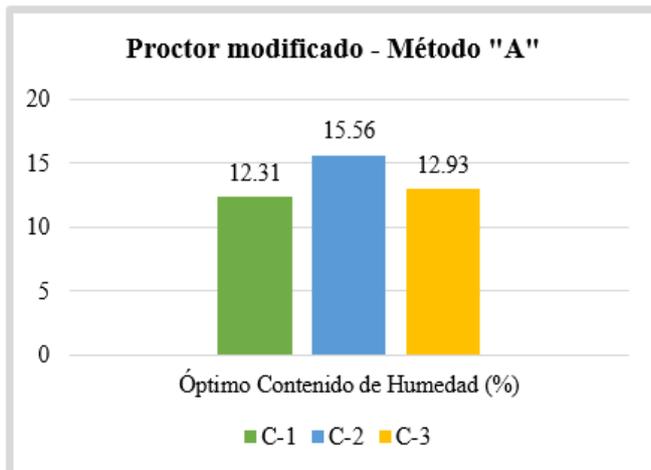
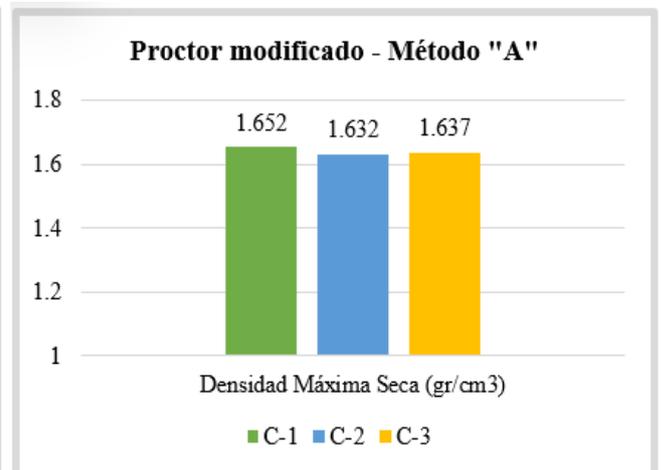


Gráfico 8 Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - MDS

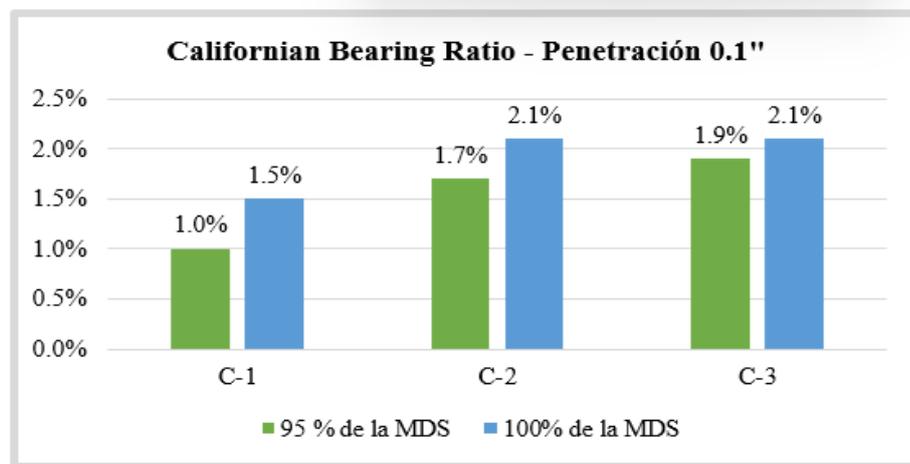


California Bearing Ratio (CBR) de las muestras naturales

En el gráfico 9 se observan los CBR para una penetración de 0.1", tanto para una densidad al 95% y al 100%; la muestra de calicata C-1 presenta el CBR de 1.0% siendo el más bajo en comparación con las otras dos calicatas, mientras que la muestra de calicata C-3 presenta el valor más alto de 1.9%.

De los hallazgos se detalla que las muestras patrón tienen un valor de $CBR \leq 6\%$, según el MTC corresponde a la clasificación de subrasante inadecuada para su uso como subrasante y es necesario su estabilización.

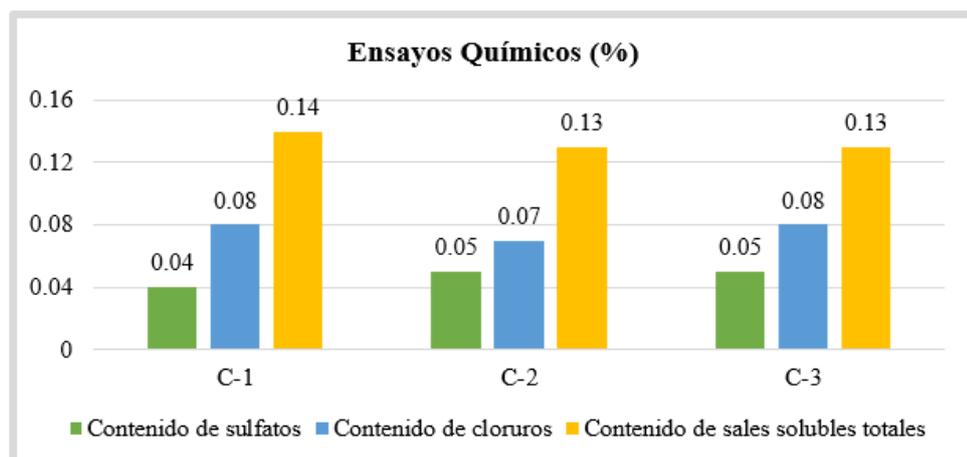
Gráfico 9 Resumen de los CBR de muestras naturales



Ensayos Químicos de muestras naturales

En el gráfico 10 se observa que la muestra que presenta mayor contenido de sulfatos es la C-3 con 0.05% (512 ppm), la de mayor contenido de cloruros es la C-1 con 0.08% (789 ppm) y la muestra con mayor contenido de sales solubles totales es la C-1 con 0.14% (1350 ppm); se verifica que cada muestra de calicata está dentro del rango para que no signifique una amenaza para la subrasante.

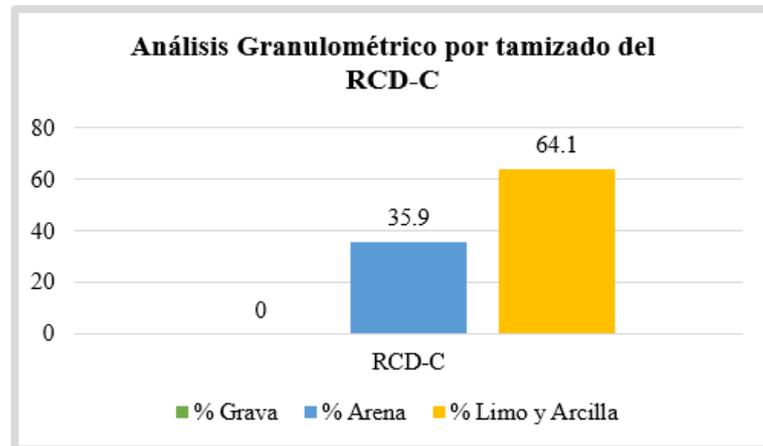
Gráfico 10 Resumen de los ensayos químicos de las muestras naturales



Análisis granulométrico por tamizado del RCD-C

En el gráfico 11 se observa que el 64.1% corresponde a limo y arcillas y el 35.9% a arenas, teniendo en cuenta que la muestra de RCD-C se consideró lo que pasan el tamiz N°.80.

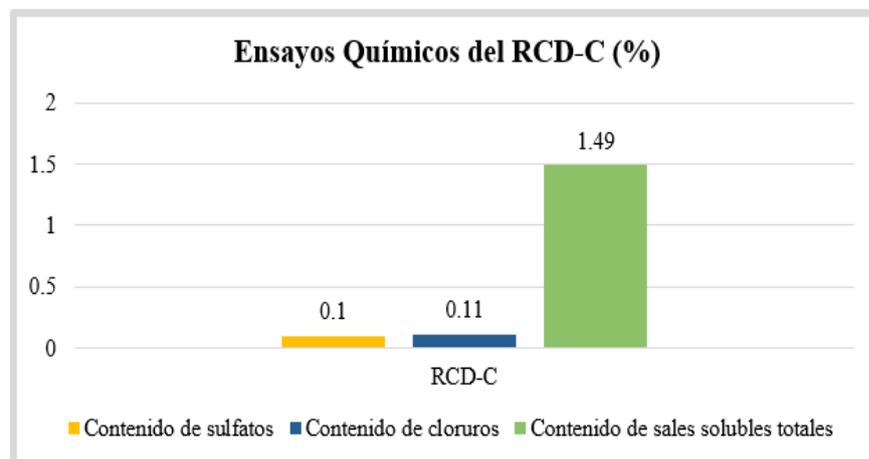
Gráfico 11 Resumen del análisis granulométrico por tamizado del RCD-C



Ensayos Químicos del RCD-C

En el gráfico 12 se observa que la muestra de RCD-C está dentro del rango para que no signifiquen una amenaza para la subrasante.

Gráfico 12 Resumen de los ensayos químicos del RCD-C

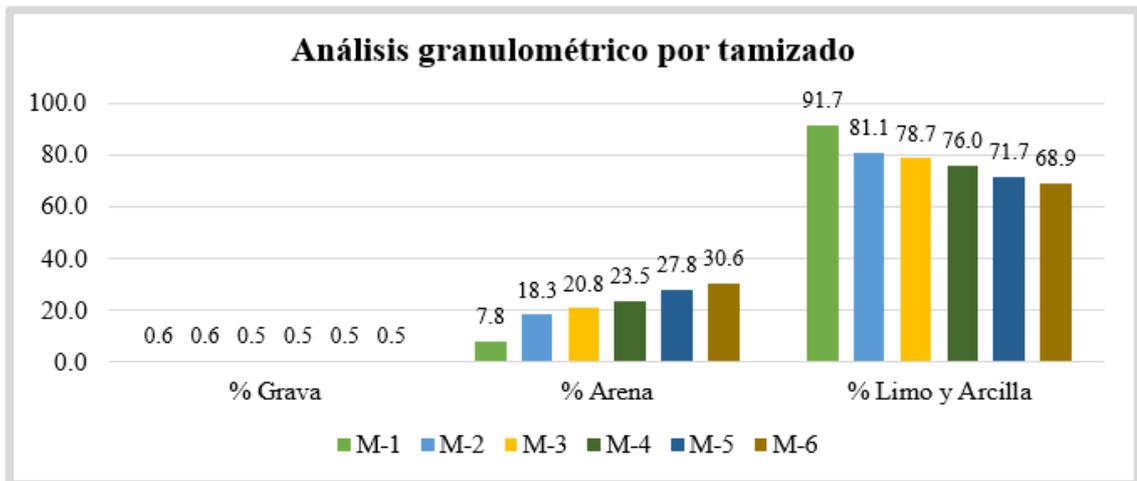


Análisis granulométrico por tamizado de muestras con adición de RCD-C

Como se mencionó anteriormente, para realizar la comparación de los resultados de la subrasante natural y con la adición de RCD-C, se trabajó con muestra de calicata C-1, el criterio de elección fue el valor más bajo de CBR. Por ello, se estableció 5 porcentajes a investigar: 2% (muestra M-2), 5% (muestra M-3), 9% (muestra M-4), 15% (muestra M-5) y 25% (muestra M-6).

En el gráfico 13 se observan los porcentajes de material pertinente a grava, arena además de limo-arcilla. de las 6 muestras investigadas (1 muestra natural y 5 muestras con diferentes porcentajes de adición). Como se puede observar el porcentaje de grava varía minimamente, la muestra M-1 (natural) con 0.6% y la muestra M-6 con 0.5%; en el porcentaje de las arena se puede observar una mayor variación, notándose claramente una tendencia a aumentar con respecto al porcentaje de RCD-C, la muestra M-1 con 7.8% y la muestra M-6 con 30.6%; por ultimo, con el porcentaje de limos y arcillas hay una tendencia a disminuir conforme se aumente el porcentaje de RCD-C, la muestra M-1 con 91.7% y la muestra M-6 con 68.9%.

Gráfico 13 Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de muestras con adición de RCD-C.



Análisis granulométrico por medio del hidrómetro de muestras con adición de RCD-C

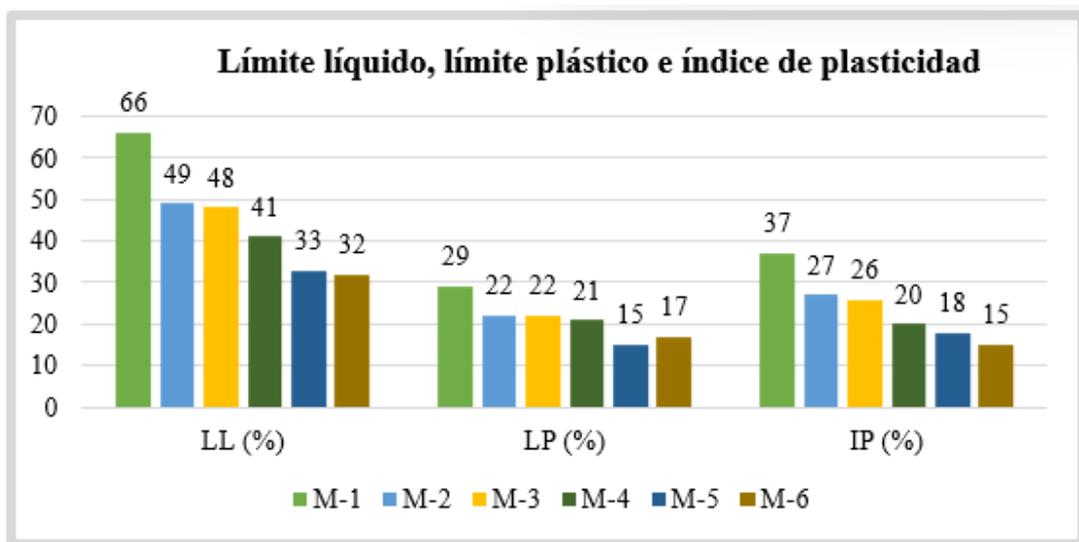
En la tabla 28 se presentan los diámetros y los porcentajes que pasan para cada una de las muestras. Para la M-2 el diámetro mayor es 0.0445 mm y el diámetro menor es 0.0013 mm; para la muestra M-3, 0.0457 mm y 0.0013 mm; para la muestra M-4, 0.0432 mm y 0.0013 mm; para la muestra M-5, 0.0419 mm y 0.0013 mm y para la muestra M-6, 0.0439 mm y 0.0013 mm.

Límites de Atterberg de las muestras con adición de RCD-C

En el gráfico 14 se muestran las 6 muestras, como se puede observar en el límite líquido hay una tendencia a disminuir con respecto al porcentaje de RCD-C, la muestra M-1 con 66% y la muestra M-6 con 32%; en el límite plástico de igual manera hay una tendencia a disminuir al aumentar el porcentaje de RCD-C, la muestra M-1 con 29% y la muestra M-6 con 17%; por ultimo ocurre lo mismo con el índice de plasticidad, la muestra M-1 con 37%, M-2 con 27%, M-3 con 26%, M-4 con 20%, M-5 con 18 % M-6 con 15%.

Según [20] las muestras M-1, M-2, M-3 y M-4 pertenecen a una clasificación de plasticidad elevada siendo una particularidad de suelos muy arcillosos, y la muestra de la calicata M-5 y M-6 se encuentran en la categoría de plasticidad media siendo característica de los suelos arcillosos.

Gráfico 14 Resumen de los límites de Atterberg de las muestras con adición de RCD-C.



Clasificación del suelo por método SUCS y AASHTO de las muestras con adición de RCD-C

En función de los resultados obtenidos en la análisis de granulometría y los valores de los límites de consistencia, se procede a la clasificación del suelo de acuerdo con las metodologías SUCS y AASHTO, dicha clasificación se encuentra detallada en las tablas 30 y 31. En ambas metodologías, el suelo se clasifica como de partículas finas y presenta características de tipo arcilloso-limoso.

Con respecto al índice de grupo encontrado de las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M5 y M-6 se tiene los valores de 17,17,12,11 y 9 respectivamente. Si el índice de grupo es mayor a 9 (con en todas las muestras a excepción de la muestra M-6) significa que el

suelo es muy malo y si el índice de grupo está dentro del rango de 4 a 9, el suelo es malo. Lo cual indica que conforme se acrecienta el porcentaje de adicción de RCD-C se reduce el porcentaje de limos y arcillas, y aumenta el porcentaje de arena.

Proctor Modificado de muestras con adición de RCD-C

En gráfico 15 se visualiza que conforme la dosificación de RCD-C aumenta, la densidad máxima seca aumenta. Como se puede notar en la muestra M-1 (muestra natural) con 1.652 gr/cm^3 , M-2 (muestra con 2% de RCD-C) con 1.683 gr/cm^3 , M-3 (muestra con 5% de RCD-C) con 1.685 gr/cm^3 , M-4 (muestra con 9% de RCD-C) 1.689 gr/cm^3 , M-5 (muestra con 15% de RCD-C) con 1.702 gr/cm^3 y M-6 (muestra con 25% de RCD-C) con 1.713 gr/cm^3 .

De igual manera en el gráfico 16 se observa que ocurre lo mismo con el OCH, la muestra M-1 con 12.31%, M-2 con 14.92%, M-3 con 15.25%, M-4 con 15.83%, M-5 con 15.94% y M-6 con 16.10%.

Esto señala que el suelo natural no logra alcanzar su MDS porque el contenido de humedad natural es mucho más alto que el OCH, lo que resultará en una disminución de la densidad del suelo a medida que el agua ocupa vacíos en partículas del suelo.

Gráfico 15 Resumen de Proctor modificado de muestras con adicción de RCD-C – MDS.

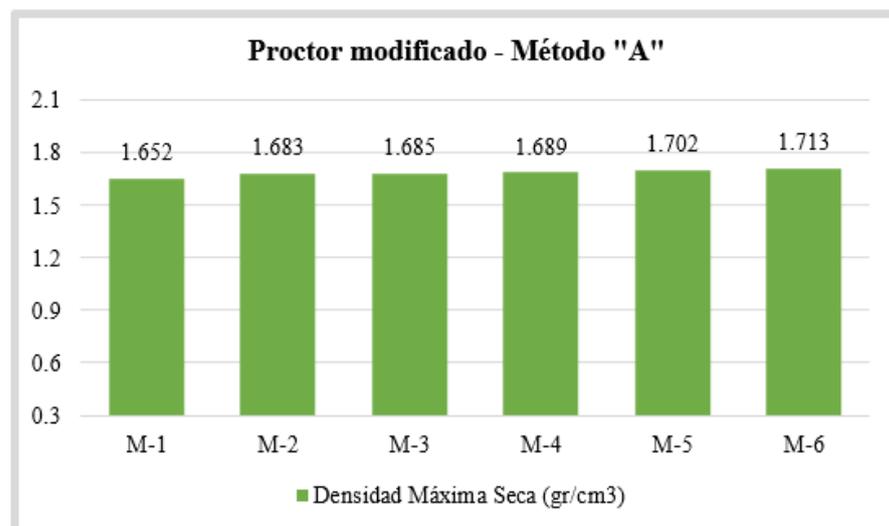
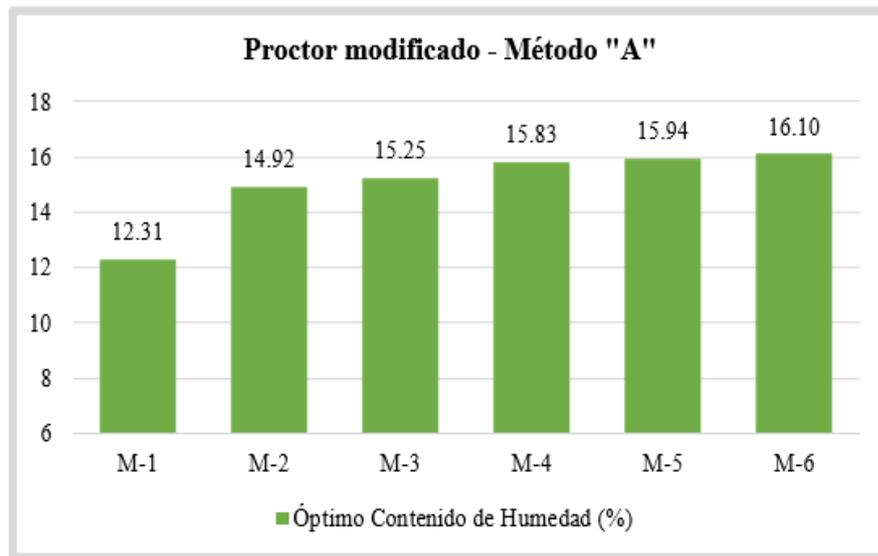


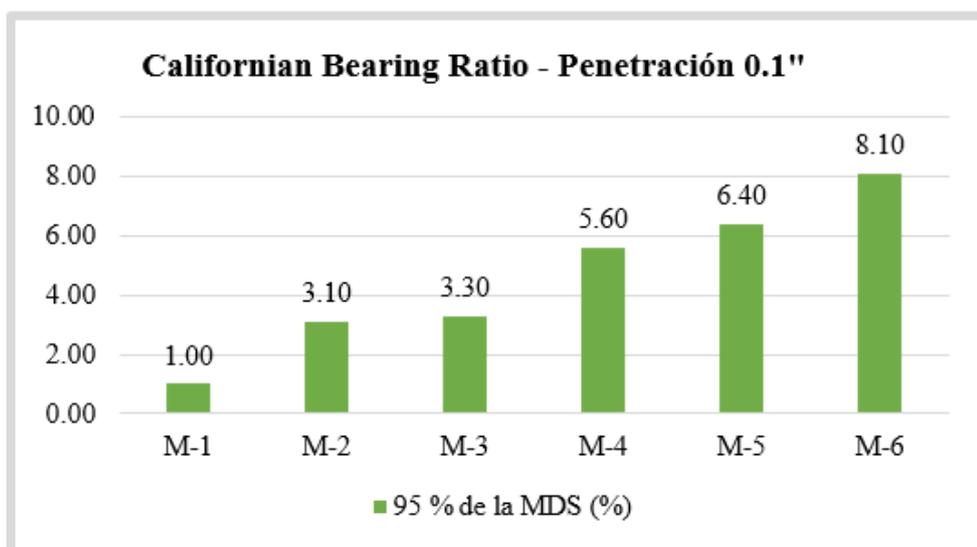
Gráfico 16 Resumen de Proctor modificado de muestras con adicción de RCD-C – OCH.



California Bearing Ratio de las muestras con adicción de RCD-C

En el gráfico 17 se visualiza una tendencia medida que se aumenta la adicción de RCD-C, el CBR aumenta. Como se puede notar en la muestra M-1 (muestra natural) con 1.0%, M-2 (muestra con 2% de RCD-C) con 3.10%, M-3 (muestra con 5% de RCD-C) con 3.30%, M-4(muestra con 9% de RCD-C), M-5 (muestra con 15% de RCD-C) con 6.40% y M-6 (muestra con 25% de RCD-C) con 8.1%. Desde la muestra M-5 se logra cumplir con el requisito mínimo de la normativa vigente, la subrasante pasa de una categoría inadecuada a regular.

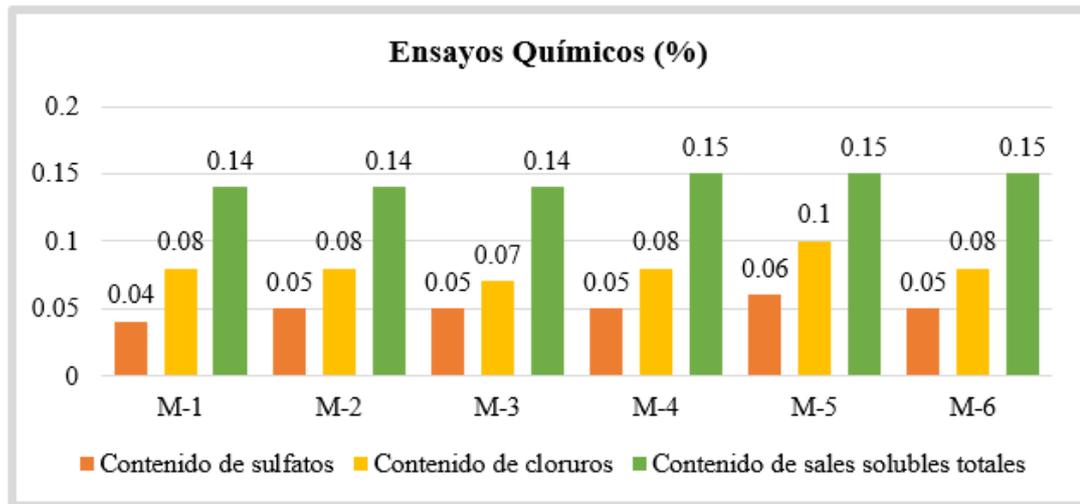
Gráfico 17 Resumen del CBR de las muestras con adicción de RCD-C



Ensayos Químicos de las muestras con adición de RCD-C

En el gráfico 18 se observa que las muestras 6 muestras están dentro del rango para que no signifiquen una amenaza para la subrasante. Estos ensayos se realizan con la finalidad de prevenir una contaminación hacia las capas superiores del pavimento como la subbase y la base.

Gráfico 18 Resumen de los ensayos químicos de las muestras con adicción de RCD-C



Evaluación económica

Según la evaluación técnica, todas las adiciones de RCD-C resultan favorables por lo que optimiza propiedades físicas además de mecánicas del suelo logrando cumplir con mínimos requerimientos para su empleo como subrasante regular, por ello, es necesario realizar la evaluación económica.

Para el cálculo del costo por metro cúbico de suelo se han considerado el proceso de obtención de la muestra, especificado anteriormente, el cual consta de las etapas de recolección y lavado, triturado, tamizado, transporte 1 (del botadero hacia la chancadora) y transporte 2 (de la chancadora hacia el área del proyecto) del RCD-C

Tabla 36 Evaluación económica

Aditivo	Dosificación (m3)	Costo de recolección (m3)	Costo de triturado (m3)	Costo por tamizado (m3)	Costo por transporte 1*	Costo por transporte 2*	Costo por m3 de suelo (S/.)
RCD-C	0.02	0.20	0.19	0.38	0.36	0.16	1.30
	0.05	0.51	0.47	0.96	0.90	0.40	3.24
	0.09	0.92	0.85	1.73	1.62	0.72	5.84
	0.15	1.53	1.42	2.89	2.71	1.19	9.73
	0.25	2.55	2.36	4.81	4.51	1.99	16.22

En la tabla 36 se muestran el costo de cada etapa mencionada y el costo final por metro cúbico para las 5 dosificaciones estudiadas, para la muestra M-2 (0.02 m³) el costo por

m³ es S/. 1.30, para la M-3 (0.05 m³) es S/.3.24, para la M-4 (0.09 m³) es S/. 5.84, para la M-5 (0.15 m³) es S/. 9.73 y para la M-6 (0.25 m³) es S/. 16.22, es necesario enfatizar en el costo de las muestras M-5 y M-6 de RCD-C debido a que según la evaluación técnica con respecto al valor de CBR se obtiene un CBR_≥6 con esas adiciones.

Para costos de recolección y tamizado del RCD-C por m³ se realizaron Análisis de Precios Unitarios (APU) como se puede observar en las tablas 37 - 41 respectivamente. Para los precios unitarios de la mano de obra se obtuvieron de la tabla salarial de construcción civil 2023, para los precios unitarios de los materiales y equipos y/o herramientas se consideró el precio del mercado comercial de ciudad de Chiclayo.

Tabla 37 APU - Recolección de RCD-C.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA: RECOLECCION DE RCD-C				Fecha:		Mayo 2023
RENDIMIENTO: 40.00 m3/día				Total S/. 8.64		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						7.74
Peón	hh	2.00	0.400	19.36	7.74	
MATERIALES						0.90
Saco	und		3.000	0.30	0.90	

Tabla 38 APU Tamizado de RCD-C.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA: TAMIZADO DE RCD-C				Fecha:		Mayo 2023
RENDIMIENTO: 15.00 m3/día				Total S/. 16.30		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						10.33
Peón	hh	1.00	0.533	19.36	10.33	
MATERIALES						0.00
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						5.98
Brocha	hm		1.000	3.00	3.00	
Tamiz	hm	1.00	0.533	5.00	2.67	
Desgaste de herramientas	% MO		0.030	10.33	0.31	

Tabla 39 APU Triturado de RCD-C.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA: TRITURADO DE RCD-C				Fecha:		Mayo 2023
RENDIMIENTO: 150.00 m3/día				Total S/. 8.00		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MATERIALES						8.00
Chancado de material reciclado	und		1.000	8.00	8.00	

Tabla 40 APU Transporte del RCD-C del botadero hacia la chancadora D=13.17 Km

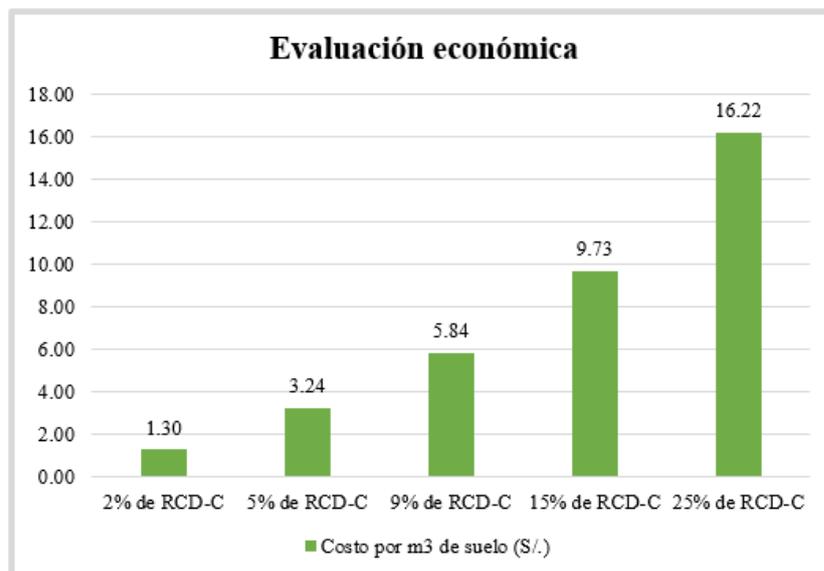
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
PARTIDA:				TRANSPORTE DE RCD-C DEL BOTADERO HACIA CHANCADORA D=13.17 Km		Fecha:	Mayo 2023
RENDIMIENTO:		138.00	m3/día	Total S/.		15.28	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio			
				Unitario	Parcial	Total	
MANO DE OBRA						2.24	
Peón	hh	2.00	0.116	19.36	2.24		
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						13.04	
Camión volquete 15 m3	hm	1.00	0.058	175.80	10.19		
Cargador sobre llantas 200-250 HP4-4.41 yd3	hm	0.13	0.007	384.16	2.85		

Tabla 41 APU Transporte del RCD-C de la chancadora hacia el área del proyecto D=13.17 Km

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
PARTIDA:				TRANSPORTE DE RCD-C DE LA CHANCADORA HACIA EL AREA DEL PROYECTO D=4.60 Km		Fecha:	Mayo 2023
RENDIMIENTO:		313.00	m3/día	Total S/.		6.74	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio			
				Unitario	Parcial	Total	
MANO DE OBRA						0.99	
Peón	hh	2.00	0.051	19.36	0.99		
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						5.75	
Camión volquete 15 m3	hm	1.00	0.026	175.80	4.49		
Cargador sobre llantas 200-250 HP4-4.41 yd3	hm	0.13	0.003	384.16	1.26		

En el gráfico 19 se muestran el costo por metro cúbico de suelo por cada adición, es importante recalcar que el costo calculado incluye IGV y unidad monetaria es el Sol (S/.).

Gráfico 19 Comparación de los costos por adición de RCD-C.



Evaluación ambiental

Para la evaluación ambiental de la estabilización de subrasantes con la adición de RCD-C se empleó la matriz de Leopold debido a su forma simple de sintetizar y jerarquizar o priorizar efectos ambientales, asimismo nos permite identificar y mitigar aquellos impactos que se consideren perjudiciales.

Para identificación de los impactos ambientales se reconocen factores del ambiente que son beneficiados o afectados además de acciones que benefician o afectan al medio ambiente. Se emplean colores para identificar a los impactos: rojo para impactos ambientales negativos, verde para impactos ambientales positivos y blanco cuando no hay impacto ambiental.

Para la valoración de los impactos ambientales se considera el signo positivo “+” cuando es beneficioso y el signo negativo “-” cuando es perjudicial, para la valoración cuantitativa de la magnitud e importancia se usan la escala del 1 al 10 (siendo 1 muy bajo o sin importancia y 10 muy alto o importante). Si el valor del ponderado es negativo, el impacto global del proyecto se evalúa como un impacto ambiental perjudicial, y si se logra un valor positivo, el proyecto no tendrá un impacto negativo.

En la tabla 39 se muestra la identificación de impactos ambientales, de manera vertical se encuentran los factores ambientales tales como: el suelo, el aire, la flora, la fauna, la calidad visual, el factor socioeconómico, el factor humano y las actividades, y de manera horizontal las acciones identificadas durante la etapa de obtención del RCD-C que incluye las acciones de recolección y preparación del RCD-C, y la fase de conformación de subrasante con RCD-C que las acciones de trazo además de replanteo, excavación asimismo nivelación, el mezclado de subrasante mejorada, el perfilado y compactación.

La tabla 40 presenta los valores asignados a los efectos ambientales. Durante la fase de obtención del RCD-C, se registró un efecto positivo con una puntuación ponderada de 184, mientras que en la fase de preparación de la subrasante con la inclusión de RCD-C, se observó un efecto adverso con una puntuación ponderada de -278.

En el ponderado total se obtuvo -94 notándose claramente una disminución significativa en el impacto negativo, siendo el factor ambiental más frágil las partículas en suspensión y la acción más agresiva la excavación y nivelación.

Además de los beneficios económicos evaluados anteriormente y los beneficios ambientales de reutilización de RCD-C en estabilización de subrasantes son evidentes por el ahorro de grandes volúmenes de materiales de cantera, el costo ambiental relacionado con la extracción y preparación de material para los proyectos de infraestructura vial. Así mismo, con el reciclaje se ahorra una cantidad considerable de energía y de espacio en el vertedero que se necesitaría para manipularlo como producto de desecho, en la ciudad de Chiclayo no se cuenta con un vertedero de este tipo, por lo cual van a parar a botaderos informales.

Tabla 42 Identificación de los impactos ambientales.

ACCIONES DEL PROYECTO FACTORES AMBIENTALES		OBTENCIÓN DEL RCD-C		CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE CON RCD-C			
		Recolección del RCD-C	Preparación del RCD-C	Trazo y Replanteo	Excavación y Nivelación	Mezclado de la subrasante mejorada	Perfilado y compactación
Suelo	Morfología del terreno						
	Contaminación del suelo						
	Erosión						
Aire	Partículas en suspensión						
	Gases						
	Nivel de ruido						
Flora	Diversidad						
Fauna	Diversidad						
Calidad visual	Paisaje urbano						
Factor socioeconómico	Empleo estacional						
	Movilización y desplazamiento						
Factor humano	Calidad de vida						
	Salud y seguridad						
Actividades	Eliminación de residuos						
	Reciclaje						
	Beneficios económicos						

LEYENDA	
	Impacto Negativo
	Impacto Positivo
	No hay Impacto

Tabla 43 Matriz de Leopold de la obtención y conformación de la subrasante con la adición de RCD-C.

ACCIONES DEL PROYECTO		OBTENCIÓN DEL RCD-C				CONFORMACIÓN DE LA SUBRASANTE CON RCD-C								IMPACTO TOTAL		
		Recolección del RCD-C		Preparación del RCD-C		Trazo y Replanteo		Excavación y Nivelación		Mezclado de la subrasante mejorada		Perfilado y compactación				
		M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I			
FACTORES AMBIENTALES		M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	P
Suelo	Morfología del terreno	0	0	0	0	-3	2	-7	6	-8	6	-3	2	-21	16	-102
	Contaminación del suelo	4	3	0	0	-1	2	-2	5	-2	5	0	0	-1	15	-10
	Erosión	0	0	0	0	0	0	-4	4	-3	3	0	0	-7	7	-25
Aire	Partículas en suspensión	-4	3	-6	5	-4	3	-7	6	-5	4	-4	3	-30	24	-128
	Gases	-1	1	-5	3	-1	2	-5	3	-4	3	-3	2	-19	14	-51
	Nivel de ruido	-1	1	-7	5	-2	2	-5	3	-5	4	-4	3	-24	18	-87
Flora	Diversidad	3	3	0	0	-1	1	-4	2	-1	1	0	0	-3	7	-1
Fauna	Diversidad	2	3	0	0	-1	1	-4	2	-1	1	0	0	-4	7	-4
Calidad visual	Paisaje urbano	5	4	0	0	-1	1	-4	2	-2	2	0	0	-2	9	7
Factor socioeconómico	Empleo estacional	2	2	3	3	2	1	4	4	2	2	2	2	15	14	39
	Movilización y desplazamiento	-2	3	0	0	-3	2	-4	4	-3	3	0	0	-12	12	-37
Factor humano	Calidad de vida	4	3	0	0	0	0	-3	3	3	2	0	0	4	8	9
	Salud y seguridad	4	5	0	0	0	0	-5	3	0	0	0	0	-1	8	5
Actividades	Eliminación de residuos	7	7	7	6	0	0	-4	3	6	7	0	0	16	23	121
	Reciclaje	7	7	6	5	0	0	0	0	7	7	0	0	20	19	128
	Beneficios económicos	5	4	2	1	0	0	0	0	5	4	0	0	12	9	42
IMPACTO TOTAL	Magnitud	35		0		-15		-54		-11		-12		LEYENDA		
	Importancia	49		28		17		50		54		12		M	Magnitud	
	Ponderado	181		3		-33		-200		-13		-32		I	Importancia	
		184				-278										
Factor Ambiental más frágil		Partículas en suspensión				IMPORTANCIA Valor ponderal que proporciona el peso relativo del efecto potencial y refleja la significación y relevancia del mismo, así como la extensión o parte del entorno afectado						MAGNITUD Expresa el grado de alteración potencial de la calidad ambiental del factor considerado, hace referencia a la dimensión, trascendencia y medida del efecto en sí mismo				
Acción más agresiva		Excavación y Nivelación														
Suma del ponderado (filas)		-94														
Suma del ponderado (columnas)		-94														

Conclusiones

Se logró evaluar la influencia de adición de residuos de construcción y demolición de concreto (RCD-C) en estabilización de subrasante de baja capacidad portante en el en el sector 1 Urrunaga, José Leonardo Ortiz, concluyendo que el porcentaje óptimo de RCD-C para estabilizar la subrasante es la adición de 15% de RCD-C (muestra M-5), siendo la subrasante clasificada como regular por el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se concluye que los RCD se clasifican en residuos aprovechables además de no aprovechables, los RCD-C pertenecen a la primera clasificación. Para la recolección de la muestra se consideró un tamaño promedio mayor a 10 cm y se procedió a realizar el tratamiento especificado anteriormente.

La caracterización del RCD-C mediante el análisis granulométrico por tamizado se consideró como muestra el porcentaje que pasa el tamiz N°80 dando como resultados 35.9% de arena y 64.1% de limo y arcilla, durante el desarrollo de la investigación se determinó que el ensayo de abrasión de los ángeles no era necesario debido al tamaño del RCD-C como se mencionó es inferior a 0.177 mm.

Se concluye que la M-1 de la calicata C-1 conforme metodología SUCS es de una “CH” arcilla de alta plasticidad y para metodología AASTHO pertenece al grupo A-7-6 con un índice de grupo mayor a 10. Para todas las muestras con adición de RCD-C la clasificación del suelo según la metodología SUCS es “CL” arcilla de baja plasticidad con arena y para metodología AASTHO para las muestras M-2, M-3 y M-4 se mantiene en el grupo A-7-6 con un índice de grupo mayor a 10, para la muestra M-5 cambia A-6 con índice de grupo mayor a 10 y para la M-6 es A-6 con un índice de grupo menor de 9.

En ensayo de proctor modificado se observó que la MDS y el OCH aumenta conforme la adición de RCD-C aumente. La muestra patrón obtuvo 1.652 gr/cm³ de MDS y 12.31% OCH, con la muestra M-5 1.702 gr/cm³ y 15.94%, y con la muestra M-6 1.713 gr/cm³ y 16.10%. Asimismo, se observa que el suelo no alcanza su densidad máxima seca porque el contenido de humedad natural es mayor al OCH de cada una de las muestras.

En ensayo de CBR se visualizó que la capacidad portante aumenta conforme el porcentaje de adición de RCD-C aumente. La muestra patrón obtuvo 1% de CBR al 95% de la MDS siendo un valor no apto para subrasantes, con la adición de 15% de RCD-C el CBR se incrementó a 6.40% representando un aumento del 540% y con la adición de 25% de RCD-C el CBR se

incrementó a 8.10% representando un aumento del 710%. La muestra de subrasante M-1 de la calicata C-1 pasó de la categoría de subrasante inadecuada a subrasante regular desde la muestra M-5 con 15% de adición de RCD-C.

Se concluye que el porcentaje óptimo de RCD-C para estabilizar la subrasante es la adición de 15% de RCD-C (muestra M-5) debido a que se logra un CBR de 6.40 al 95% MDS con una penetración de 0.1", cumpliendo con requerimientos normativos para subrasante ($CBR \geq 6$). Es necesario recalcar que con la adición de 25% de RCD-C (muestra M-6) sigue aumentando el valor del CBR, sin embargo, como la muestra M-5 ya cumple con la normativa es la adición seleccionada.

Se concluye que las muestras M-5 (15% de adición de RCD-C) y M-6 (25% de adición de RCD-C) son las que el valor de CBR es mayor o igual a 6 cumpliendo con requerimientos mínimos detallados por normativa nacional vigente.

Se concluye que por metro cúbico de suelo para la adición de 15% de RCD-C (0.15 m^3) representa un costo de 9.73 soles, mientras que la adición de 25% de RCD-C (0.25 m^3) representa un valor de 16.22 soles, con ambas dosificaciones se logró superar el $CBR \geq 6$.

La estabilización de subrasante con adición de RCD-C logra disminuir significativamente los impactos ambientales, siendo beneficioso para el medio ambiente porque se está reutilizando los RCD-C como un material que soluciona una problemática en la zona de análisis, así como crea oportunidades de empleo y sirve como una nueva alternativa de estabilización o mejoramiento de subrasante a seguirse analizando en el campo de la ingeniería.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con investigaciones sobre la estabilización de subrasantes con baja capacidad portante con dosificaciones y tamaños de RCD-C diferentes a los de esta investigación.

Se recomienda continuar investigando sobre la influencia de sulfatos, cloruros, sales totales en subrasantes.

Se recomienda que el aditivo RCD-C esté libre de impurezas para que los datos de los ensayos no se alteren.

Se recomienda aplicar una estabilización mixta de RCD y cal en la zona de estudio por causa del contenido de humedad natural es mayor al óptimo contenido humedad y no se llegaría a la MDS, por ello se sugiere utilizar cal para reducir el contenido de humedad natural.

Se recomienda considerar el uso RCD-C como un nuevo procedimiento para la estabilización o mejoramiento de subrasantes, debido a que es una excelente forma de disminuir contaminación del ambiente y mejorar calidad de infraestructuras de vías.

Referencias

- [1] R. A. Cortés Villafradez, “¿Qué tan competitivos son los países miembros de la Alianza del Pacífico en infraestructura de transporte?”, *Rev.esc.adm.neg*, n.º 85, pp. 143–162, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3CHIY10> Acceso: septiembre 2021.
- [2] G.P. Ramos Hinojosa, “Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el empleo de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Univ. Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Junín, Perú, 2014.
- [3] D.E. Sinarahua Alarcón, “Evaluación de aditivos Perma Zyme 30x y ConAid para estabilización de subrasante en vías urbanas no pavimentadas de urbanización Urrunaga sector 1 en distrito de José Leonardo Ortiz, Chiclayo 2020”, Tesis de pregrado, Fac. de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Ambiental, Univ. Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2021.
- [4] S.P. Soncim, G. Barbosa Athayde, M.J. Ferrari, M. Oliveira de Almeida, S.G. de Almeida y F.X. Rodrigues Vidal. “O emprego do resíduo da reciclagem de garrafas pet (polietileno tereftalato) como agregado em reforço de subleitos de rodovias”, *Researchgate*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ywTKXB> Acceso: septiembre 2021.
- [5] V. Kerni, V.K. Sonthwal, U. Jan, “Review on stabilization of clayey soil using fines obtained from demolished concrete structures”, *International journal of innovative research in science, engineering and technology*, vol. 4, n.º. 5, p. 3204-3209, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3SN8N7C> Acceso: septiembre 2021.
- [6] Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, “Diagnóstico de Residuos Sólidos de la construcción en el Perú”, Informe, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3rLAaTP>
- [7] S. Ochoa Averos, “Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-concreto fino (partículas <2mm) para aplicación en pavimentos”, Tesis de pregrado, Univ. Federal de Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu, Brasil, 2019.

- [8] P.G. Becerra Cely, L.F. Gómez Méndez, “Estudio del comportamiento en las arcillas típicas de Bogotá estabilizadas con residuos de construcción y demolición (RCD)”, Tesis de pregrado, Fac. de Ingeniería, Prog. de Ingeniería Civil, Univ. Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [9] H.S. Gonzales Castellanos y C.A. Infante Molina, “Análisis del comportamiento mecánico de suelos encontrados en localidad de Rafael Uribe al ser mejorados con residuos de construcción y demolición (RCD)”, Tesis de pregrado, Fac. tecnológica, Univ. Distrital José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2021.
- [10] G. Banzibaganye, E. Twagirimana and S. K. G, "Strength Enhancement of Silty Sand Soil Subgrade of Highway Pavement Using Lime and Fines from Demolished Concrete Wastes," *International Journal of Engineering Research in Africa*, vol. 36, pp. 74-84, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3egDCTa>
- [11] A. Amrutha, S. M. Shammna, D. Praveen y S. Kavitha, “Stabilisation of Subgrade Soil Using Demolished Concrete Aggregate”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3SW5fQM>
- [12] A. A Noriega y K. T. Villarreal, “Influencia del porcentaje de concreto reciclado en la estabilización de suelos arcillosos para sub-rasante para un pavimento flexible, de una trocha de 10 km en sectores de Alto Huallaga hasta La Merced, Laredo - La Libertad – 2020”, Tesis de pregrado, Fac. de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, Univ. Privada del Norte, Trujillo, Perú, 2020.
- [13] Y.A. Del Río Huamán, “Optimización de estabilización de suelos arcillosos en sector Curva del Sun – Campiña de Moche, con concreto reciclado para pavimentación, provincia de Trujillo, La Libertad– 2017”, Tesis de pregrado, Fac. de Ingeniería, Escuela Académico Profesional Ingeniería Civil, Univ. César Vallejo, Nuevo Chimbote, Perú, 2017.
- [14] R.R. Juárez Badillo, *Mecánica de suelos*, vol. 1. México: Editorial Limusa Noriega Editores, 2011. Cap. 1, pp 33-40.

- [15] Y. Maldonado, “Origen y formación de los suelos”. Geología web. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3SQjgPA> Acceso: septiembre 2021.
- [16] V. Pérez Alamá, *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México. Cap. 1, pp 9-30.
- [17] M.G. Fratelli, *Suelos, fundaciones y muros*. Venezuela, 1993. Cap. 1, pp 11-30.
- [18] G. Duque Escobar y C.E. Escobar Potes, *Mecánica de los suelos. Colombia*, 2002.
- [19] B.M. Das, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, 4ª ed. México. Cengage Learning, 2013.
- [20] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras – suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3CFv4xB> Consultado Sep. 30, 2021.
- [21] L. Bañón Blázquez, J. F. Beviá García, *Manual de Carreteras*, vol.2. España. Editorial Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Co4uZB>
- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017). *Manual de ensayo de materiales*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3TdzvWZ> Consultado Sep. 30, 2021.
- [23] A. Montejó Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*, 2ª ed. Colombia. Univ. Católica de Colombia – Ediciones y publicaciones, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3RIJO4d>
- [24] J.A. Tapias Mendivelso, *Guía de intervención sostenible de los residuos de construcción*. Colombia. Univ. Santo Tomás, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3RPe6SA>
- [25] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Glosario de términos de uso frecuente de infraestructura vial*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2mdKeGJ> Consultado Sep. 20, 2021.

[26] A. Garmendia Salvador, A. Salvador Alcaide, C. Crespo Sánchez y L. Garmendia Salvador, *Evaluación de impacto ambiental*. España: Pearson Educación, 2005.

[27] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2012), *Reglamento Nacional de edificaciones*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3yswWIZ> Consultado Sep. 20, 2021.

[28] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2010), *Norma técnica de edificación CE 0.10 Pavimentos urbanos*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3T9A97L> Consultado Sep. 20, 2021.