

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teorías de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025

Asesor:

Mg. Ing. Laime Calvo, Edixon

Autores:

Meza Quispe, Orlando

Paucar Camilla, Marivi Estela

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Civil

Cusco – Cusco – Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 013

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco,, a los 23 días del mes de Diciembre del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 550-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Alvarez Alvarez Javier Francisco
Dictaminante:	Mg. Loaiza Cruz Dilson Elvis
Replicante :	Mg. Canal Apaza Jaime

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teorías de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Meza Quispe Orlando

(Apellidos y Nombres)

Br.: Paucar Camilla Marivi Estela

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Meza Quispe Orlando	Aprobado
Br. Paucar Camilla Marivi Estela	Aprobado

Siendo las 10:45 a.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Alvarez Alvarez Javier Francisco

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Loaiza Cruz Dilson Elvis

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Canal Apaza Jaime

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)
(Firma)
(Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Meza Quispe, Orlando Paucar Camilla, Marivi Estela
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70031695 76227958
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0005-1858-0976 https://orcid.org/0009-0007-7146-2404
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mg. Ing. Laime Calvo, Edixon
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 42157485
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0004-7280-0776
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible.
Rango de años en que se realizó la investigación	: Marzo 2025 – mayo 2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 14%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, cuya guía y bendición me han permitido culminar mi carrera. Con inmenso amor y gratitud, extendo esta dedicatoria a mis padres, Zenovio Meza y Bruna Quispe, por su apoyo incondicional a lo largo de este camino académico, y por ser un ejemplo constante de esfuerzo, compromiso y valores que han orientado mi vida.

A mis hermanos, quienes han estado a mi lado brindándome su respaldo sincero, su compañía y su confianza. Y, de manera muy especial, a mi hijo Sebastián Matteo, mi mayor fuente de inspiración, mi fuerza diaria y el motivo principal por el que nunca me rindo.

Meza Quispe, Orlando

A Dios, por concederme sabiduría y acompañarme en cada paso de este camino académico, dándome la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta. Gracias por ser mi apoyo constante e inspiración diaria.

A mis padres, Juan José y Estela, por todo el sacrificio y dedicación que brindaron para que pudiera recibir una educación. Esta tesis representa el amor, el apoyo y los valiosos consejos que siempre me dieron para avanzar y no rendirme ante los desafíos.

Paucar Camilla, Marivi Estela

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, cuya guía y bendiciones han estado presentes en cada etapa de mi recorrido académico, permitiéndome culminar con éxito esta etapa tan significativa.

A mis padres, Zenovio Meza y Bruna Quispe, les debo una inmensa gratitud por su amor incondicional, por ser un modelo constante de esfuerzo, compromiso y valores, y por enseñarme, a través de su ejemplo, el valor de la perseverancia y la rectitud.

Meza Quispe, Orlando

Con todo mi corazón, agradezco a Dios por escuchar mis oraciones, por su amor incondicional, por darme una familia llena de afecto y por protegerme siempre, permitiéndome así alcanzar y cerrar esta etapa universitaria.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a los docentes que compartieron conmigo sus conocimientos y enseñanzas.

Quiero manifestar mi especial gratitud al Magíster Edison Laime Calvo, quien, en su rol de asesor, me brindó su valioso apoyo durante la elaboración y ejecución de este proyecto de tesis.

Paucar Camilla, Marivi Estela

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la capacidad de carga de suelos cohesivos, aplicando los fundamentos de la Teoría de Terzaghi Meyerhof para el diseño de cimentaciones superficiales en la localidad de Pumamarca, durante el año 2025, este estudio se desarrolló ante la problemática geotécnica de los suelos arcillosos caracterizados por su baja capacidad de carga, condiciones que afectan la estabilidad de las cimentaciones superficiales de las infraestructuras en la zona.

La metodología adoptada fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo, comprendiendo la ejecución de sondeos por auscultación mediante cuatro calicatas representativas, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural y del suelo estabilizado con RCD.

Los resultados obtenidos demostraron que la estabilización del suelo con RCD produce un incremento significativo en la capacidad de carga admisible, mejorando de 1.05 kg/cm² de un suelo natural a 1.82 kg/cm² estabilizado con un 25% de RCD y de 1.10 kg/cm² de un suelo natural a 1.91 kg/cm² estabilizado con un 25% RCD, el cual se visualiza en la calicata 2 según las teorías de Terzaghi y Meyerhof.

En conclusión, se determinó que los suelos cohesivos (CL) de la zona de Pumamarca, al ser estabilizados con RCD provenientes del mismo sector y con granulometría de hasta $\frac{3}{4}$ ", presentan una mejora significativa en una de las propiedades mecánicas esenciales para el diseño estructural: la capacidad de carga admisible.

Palabras clave: Ensayo con DPL, capacidad de carga admisible, Teoría de Terzaghi, Teoría de Meyerhof, Estabilización de suelos con RCD.

Abstract

The main objective of this research work is to evaluate the influence of the use of construction and demolition waste (CDW) on the load capacity of cohesive soils, applying the fundamentals of Terzaghi's Theory and Meyerhof's Theory for the design of surface foundations in the town of Pumamarca, during the year 2025. This study was developed in response to the geotechnical problems of clay soils characterized by their low load-bearing capacity, conditions that affect the stability of the surface foundations of the infrastructures in the area.

The methodology adopted was experimental with a quantitative approach, including the execution of auscultation probes through four representative pits, to determine the physical and mechanical properties of the natural soil and the soil stabilized with CDW.

The results obtained showed that soil stabilization with CDW produces a significant increase in the permissible load capacity, improving from 1.05 kg/cm² of a natural soil to 1.82 kg/cm² stabilized with 25% CDW and from 1.10 kg/cm² of a natural soil to 1.91 kg/cm² stabilized with 25% CDW. which is visualized in pit 2 according to the theories of Terzaghi and Meyerhof.

In conclusion, it was determined that the cohesive soils (CL) of the Pumamarca area, when stabilized with CDW from the same sector and with granulometry of up to 3/4", present a significant improvement in one of the essential mechanical properties for the structural design: the admissible load capacity.

Keywords: DPL test, permissible load capacity, Terzaghi's theory, Meyerhof's theory, Soil stabilization with CDW.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xiii
I. Introducción.....	15
II. Planteamiento del problema.....	18
2.1. Descripción y formulación del Problema.....	18
2.2. Objetivos.....	21
2.2.1. Objetivo General.....	21
2.2.2. Objetivos Específicos.....	21
2.3. Justificación e importancia.....	21
2.4. Hipótesis.....	25
2.5. Variables.....	26

III. Marco teórico	28
3.1. Antecedentes	28
3.2. Bases teóricas.....	38
3.3. Definición de términos	54
IV. Metodología.....	58
4.1. Tipo y nivel de Investigación	59
4.2. Ámbito temporal y espacial	59
4.3. Población y muestra.....	62
4.4. Instrumentos.....	67
4.5. Procedimientos.....	75
4.6. Análisis de datos	87
4.7. Consideraciones éticas	88
V. Resultados y discusión	94
VI. Conclusiones	145
VII. Recomendaciones	148
VIII. Referencias.....	150
IX. Anexos	159

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables de la investigación.	27
Tabla 2. Cuadro de ubicación de investigación de la tesis	60
Tabla 3: Ubicación de las coordenadas UTM de las calicatas.....	66
Tabla 4. Códigos de ensayo	67
Tabla 5. Resultados del cont. humedad.....	99
Tabla 6. Resultados de la determinación del L.L.	101
Tabla 7. Resultados de la determinación del límite plástico.	103
Tabla 8. Resultados del peso específico de los suelos.....	105
Tabla 9. Resultados del análisis de la granulometria de los suelos.....	107
Tabla 10. Resultados de densidad de campo con RCD.	109
Tabla 11: Resultados de la cohesión en suelo natural y con RCD.	111
Tabla 12: Resultados del ángulo de fricción en suelo natural y con RCD.	112
Tabla 13. Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Terzaghi en suelo natural.....	113
Tabla 14. Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Terzaghi en suelo estabilizado con RCD - RI.....	114
Tabla 15. Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Meyerhof en suelo natural.....	115
Tabla 16. Result. obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Meyerhof en suelo estabilizado con RCD – RI característico.	115
Tabla 17. Resumen de resultados de la determinación de la capacidad de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Terzaghi	116

Tabla 18. Gráfico de los result. de la determinación de carga en suelo nat. y estabilizado aplicando la teoría de Terzaghi.	117
Tabla 19. Resumen de resultados de la determinación de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Meyerhof	117
Tabla 20. Gráf. de variación de la determinación de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Meyerhof.	118
Tabla 21. Resultados e incidencias de las variaciones de la determinación de la capacidad de carga.	118
Tabla 22. Resultados del contenido de humedad del RCD – RI – TAM MAX $\frac{3}{4}$ ".	119
Tabla 23. Resultados del límite líquido del RCD – RI	120
Tabla 24. Resultados del límite plástico del RCD – RI e índice de plasticidad. .	120
Tabla 25. Resultados del peso específico del RCD-RI.	121
Tabla 26. Resultados del análisis granulométrico del RCD-RI.....	121
Tabla 27. Dosificación del RCD-RI	122
Tabla 28. Análisis de resultados del contenido de humedad	131
Tabla 29. Comparación de resultados entre la teoría de Terzaghi y Meyerhof aplicado a cimentaciones superficiales.	134
Tabla 30. Variación de los resultados entre la teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones superficiales.....	134

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de suelos - método Sucs.....	46
Figura 2. Sistema de clasificación de suelos - método AASHTO	48
Figura 3. Ubicación de la Investigación a nivel departamental	60
Figura 4. Ubicación de la investigación a nivel distrital y provincial.....	61
Figura 5: Delimitación de la zona de estudio.....	63
Figura 6. Ubicación de calicatas.....	65
Figura 7. Zonificación de áreas de estudio.....	66
Figura 8. Instrumentos para límite plástico.....	68
Figura 9. Probeta graduada para peso específico.....	69
Figura 10. Balanza electrónica de precisión.....	69
Figura 11. Horno eléctrico.	70
Figura 12. Cuchara de Casagrande para ensayo de límite líquido.....	71
Figura 13. Tamices para granulometría.....	72
Figura 14. Agitador eléctrico de tamices normalizados	72
Figura 15. Aparato del cono de arena.	73
Figura 16. Equipo para ensayo por auscultación.....	74
Figura 17. Pison de mano.....	74
Figura 18. Recolección de muestras alteradas a cielo abierto.	76
Figura 19. Excavación de calicata con maquinaria	76
Figura 20. Exploración de campo para el estudio de mecánica de suelos.....	77
Figura 21. Perfil estratigráfico de los suelos en investigación.	77
Figura 22. Recolección de muestras para ensayo de granulometría.....	78
Figura 23: Realización del ensayo DPL insitu.	79

Figura 24. Proceso para determinar el contenido de humedad.	81
Figura 25: Proceso para determinar el límite plástico.	83
Figura 26: Cantidad retenida por cada tamiz.....	85
Figura 27: Proceso del ensayo cono de arena.	86
Figura 28: Toma de muestra del RCD - RI.	89
Figura 29: Recolección y medición de muestra de RCD - RI.....	90
Figura 30: Proceso del Chancado del RCD – RI.....	91
Figura 31. Selección de las partículas del RCD - RI a través de ensayo de granulometría.	92
Figura 32. Perfil Estr. de la cal. 01.....	94
Figura 33. Perfil E. de la cal. 02.....	95
Figura 34. P. E. de la calicata a cielo abierto 03.....	96
Figura 35. Perfil de la estratigrafía de la cal. 04.	97
Figura 36. Gráfico de barras de la determinación de la capacidad de carga aplicando la teoría de terzaghi y Meyerhof para cimentaciones superficiales. ...	135
Figura 37: Tendencia de la variación de la capacidad de carga entre Terzaghi y Meyerhof aplicando a cimentaciones superficiales.	135
Figura 38. Evolución de los resultados de capacidad de carga.....	136

I. Introducción

Considerando que los estudios de suelos con fines de cimentación son uno de los más importantes al realizar una edificación y considerando también, que en la mayor parte del mundo, los suelos requieren estabilización antes de usarlos como fundación, se vienen implementando métodos de estabilización con aditivos naturales con el fin de aumentar la capacidad de carga del mismo.

En nuestro país, el estado el gobierno ha asumido la responsabilidad de normalizar todos los procedimientos de estudios de esta naturaleza con el fin de garantizar la seguridad de las edificaciones que se construyen en el Perú. Así mismo a través de sus organismos, actúa como un ente supervisor.

La incógnita se plantea en la siguiente pregunta: ¿Cómo influye el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la capacidad de carga, parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión) en suelos cohesivos con fines de cimentación, según las teorías de Terzaghi y Meyerhof, en la localidad de Pumamarca durante el año 2025?

En la actualidad existen diferentes métodos y aproximaciones teóricas para la estimación de la capacidad de carga, determinar dichos resultados conllevan a realizar estimaciones mediante ecuaciones, comparaciones y aproximaciones con el apoyo de equipos y teorías de diferentes autores.

Hoy en día, la industria de la construcción requiere que los suelos presenten condiciones óptimas de cimentación para poner en desarrollo proyectos de edificación, sin embargo, en muchos de los casos, los suelos de apoyo requieren un tratamiento de estabilidad para cumplir con ciertas condiciones específicas.

Para la presente indagación, adicionalmente a realizar los estudios de suelos con fines de estabilización del suelo en suelos naturales y suelos estabilizados en RCD usando el método de ensayo DPL, se ha aplicado las teorías de Terzaghi y Meyerhof para la determinación de capacidad de carga con el fin de realizar un análisis comparativo en la aproximación al valor óptimo del Q_{adm} .

De igual manera, el proceso de estabilización con RCD se realizó a través de una combinación con el suelo natural y en proporción constante tomando en cuenta la granulometría de los residuos de construcción y demolición recopilados en la zona.

Finalmente, el objetivo se resume en analizar las propiedades mecánicas del suelo cohesivo estabilizado con residuos de construcción y demolición (RCD) en la zona de Pumamarca (2025), con fines de cimentación, aplicando las teorías de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, y determinar el valor óptimo de la capacidad de carga admisible (Q_{adm}).

La metodología es de carácter experimental con enfoque cuantitativo de nivel correlacional, tomando como resultado que RCD mejora las propiedades mecánicas del suelo cohesivo y aumenta la capacidad portante del mismo. Se concluye también que la estabilización de suelos cohesivos con RCD representa una alternativa viable y sostenible para mejorar la capacidad de carga del terreno en proyectos de cimentación. Del mismo modo, el uso de residuos de construcción en combinación con suelos naturales no solo mejora las condiciones físico-

mecánicas, sino que también contribuye a la reutilización de materiales, favoreciendo una gestión responsable de los residuos en la construcción de clase

A.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema.

En México, El Instituto Mexicano del Transporte, en su artículo denominado “La Importancia de la estabilización del suelo para la construcción” plantea como problemática, el gran nivel de importancia de la estabilidad de suelos para fines de construcción de infraestructura de uso de vivienda, aplicando metodologías de estabilidad con la teoría de Terzaghi, obteniendo resultados favorables a través de la combinación de algunos aditivos naturales y artificiales, llegando a la conclusión de que todos los suelos pueden ser cumplir las condiciones y parámetros mecánicos para fundación, siempre y cuando, estos sean reforzados con aditivos que cumplan los objetivos planteados. (Instituto Mexicano del Transporte, 2024)

En Perú, Los Tesistas Zavaleta y Aponte, en su investigación denominada “Estabilización de suelos con residuos de la construcción y demolición al 75% con fines de cimentación en la urbanización Villa las praderas” tomaron como el análisis de estabilidad de suelos en la zona de Nuevo Chimbote, ubicado específicamente al norte del Perú, donde el suelo presentaba material granular sin límites de consistencia generando evidentemente asentamientos por ausencia de ligante, usaron la metodología de estabilidad de Suelo es con aditivo de restos de demolición al 75%, obteniendo resultados de incremento de capacidad de carga del suelo de hasta un 32% de los sondeos, llegando a la conclusión que los restos

de demolición aportan una gran capacidad de carga a suelos de baja estabilidad, así mismo comentan que el método ayuda a mitigar la eliminación de desmonte en el medio ambiente. (Zavaleta Benites & Sánchez, 2019)

En Cusco, los investigadores Garrafa y Huaracha, en su investigación denominada “Estabilización de sub rasante de suelos arcillosos adicionando ceniza de cubuya con cal en 4km vía Poroy – Cusco 2022” trazan como problemática mejorar las condiciones de capacidad de carga de los suelos destinados para sub rasante, para tal motivo realizan el análisis de suelos arcillosos de clasificación CL aplicando la teoría de Terzaghi como metodología de determinación de carga, considerando el factor de seguridad, según lo indicado en la norma. Obtuvieron resultados de capacidad de carga de 4.5 kg/cm en el primer sondeo, 3.2 kg/cm² en el segundo sondeo (sin aditivo), posteriormente adicionaron cubuya como material granular obteniendo resultados de 5.2 kg/cm² en el primer sondeo y 3.2. kg/cm² en el segundo sondeo, llegando a la conclusión de que la Cumbuya, al presentar un comportamiento granular, mejora la capacidad de carga. (Garrafa Quillo & Huaracha taco, 2022)

Actualmente la comunidad de Pumamarca, Distrito de San Sebastián, Cusco, se encuentra ubicada en una zona de expansión urbana, las áreas rurales están en proceso de urbanización a través de explanaciones y rellenos de terraplenes con fines de vivienda, sin embargo, este proceso resulta riesgoso debido a que los rellenos con material de desmonte no presentan garantías estructurales para fundación. Así mismo, la zona Pumamarca, en su gran mayoría, presenta estratigrafías con presencia de arcilla de plasticidad media arenosa.

Las consecuencias que se pudieran presentar a la actual situación geotécnica del sector de Pumamarca se relaciona directamente con los asentamientos producidos por los Metrados de cargas de las edificaciones, por lo que su mejoramiento con RCD resulta imperativo.

Por estas consideraciones le presentamos el presente informe de Plan de Investigación titulado: “Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025”, Este informe de Investigación se fundamenta en realizar el mejoramiento de suelos arcillosos con material RCD, (Residuos de la Construcción y Demolición) para el aumento de la capacidad de carga.

Formulación del problema de investigación.

Actualmente la comunidad de Pumamarca presenta suelos arcillosos de baja capacidad de carga, así como zonas de relleno propensos a colapso y asentamiento por falta de tratamiento.

➤ **Problema general**

¿Cómo influye el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la capacidad de carga, parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión) en suelos cohesivos con fines de cimentación, según las teorías de Terzaghi y Meyerhof, en la localidad de Pumamarca durante el año 2025?

➤ **Problemas específicos.**

- ¿Cuál es la capacidad de carga del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025?

- ¿Cuáles es el ángulo de fricción interna del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025?
- ¿Cuál es la cohesión del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025?

2.2. Objetivos.

2.2.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la capacidad de carga, los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión), en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando las teorías de Terzaghi y Meyerhof en la localidad de Pumamarca durante el año 2025.

2.2.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar la capacidad de carga del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025.

O.E.2. Determinar el ángulo de fricción interna del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025.

O.E.3. Determinar la cohesión del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025.

2.3. Justificación e importancia

La justificación de una investigación es el momento en el que el estudio cobra vida y sentido, sobre todo en este tipo de investigaciones. Básicamente es el

espacio donde el investigador expresa, desde la convicción y el compromiso de cada uno de sus integrantes, por qué resulta importante y necesario emprender ese camino de búsqueda. Aquí no solo se explican razones académicas, sino que se comparte la preocupación, el interés y la esperanza de que la investigación aporte una respuesta, una mejora o una oportunidad de cambio. (Alba, 2022)

2.3.1. Justificación

➤ *Justificación técnica*

En la actualidad, el sector de Pumamarca presenta una estratigrafía arcillosa conformada por suelos cohesivos expuestas a fallas, por lo que su mejoramiento con algún material complementario como el caso del RCD (residuos de construcción y demolición) resulta imperativo.

➤ *Justificación metodológica*

La presente investigación se justifica metodológicamente en la necesidad de aplicar un enfoque técnico-científico riguroso para evaluar el comportamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) como material de mejora en suelos cohesivos destinados a cimentación. Para ello, se emplean las teorías clásicas de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, ampliamente validadas en la geotecnia, como herramientas analíticas fundamentales para determinar la estabilidad y resistencia del suelo modificado.

➤ *Justificación teórica*

La estabilidad de los suelos constituye un factor determinante en el éxito de cualquier proyecto de cimentación, especialmente en zonas con características geotécnicas desfavorables. En el caso de suelos cohesivos, como las arcillas de plasticidad media y alta, la capacidad de carga se ve condicionada por su

estructura, contenido de humedad y comportamiento ante cargas estáticas, lo que puede generar asentamientos diferenciales y fallas estructurales si no se realiza un tratamiento previo adecuado.

La teoría de la capacidad de carga propuesta por Karl Terzaghi establece que la resistencia última de un suelo para soportar cargas de cimentación superficial depende de tres componentes: la resistencia al corte por cohesión, la fricción interna y el efecto de la sobrecarga. Esta formulación, ampliamente utilizada en ingeniería geotécnica, permite cuantificar el valor máximo de presión que puede transmitirse al terreno sin riesgo de falla. Complementariamente, Meyerhof introduce ajustes a este modelo incorporando factores de forma, inclinación de la carga y profundidad de cimentación, lo que proporciona estimaciones más realistas para condiciones constructivas diversas.

➤ **Justificación por viabilidad**

Desde el punto de vista de la viabilidad, la investigación en definitiva es posible de realizar ya que los materiales a usarse se encuentran accesibles en la zona de Pumamarca, esto debido a la presencia de RCD producto de la demolición de infraestructuras a los alrededores del área en estudio.

2.3.2.Importancia

➤ ***Importancia técnica***

La Importancia técnica se centra en el mejoramiento de la capacidad de carga del suelo de características mecánicas deficientes a través de la estabilización con residuos de construcción y demolición (RCD) en diferentes estratos.

➤ **Importancia metodológica**

La importancia metodológica de esta investigación radica en la aplicación de un enfoque de carácter técnico que básicamente permite integrar el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) con principios clásicos de la mecánica de suelos con fines de fundación. Al aplicar las teorías de Terzaghi y Meyerhof, se establece un marco analítico sólido para evaluar la capacidad de carga y los parámetros geotécnicos en suelos cohesivos modificados, lo cual es esencial para el diseño de cimentaciones seguras y eficientes.

➤ **Importancia teórica**

La presente investigación reviste gran importancia teórica debido a que articula dos enfoques fundamentales de la mecánica de suelos, las teorías de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, con una metodología de estabilización sostenible y amigable con el medio ambiente basada en el uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en suelos cohesivos como es el caso específico de Pumamarca.

En primer lugar, el estudio refuerza y actualiza el marco conceptual de la capacidad portante al aplicar de manera simultánea los modelos clásicos de Terzaghi, centrado en la interacción entre cohesión, fricción interna y sobrecarga, y el enfoque de Meyerhof, que amplía dicho modelo incorporando factores de corrección por forma, profundidad y condiciones de carga. La contrastación de resultados bajo ambos métodos permitirá comparar y validar su aplicabilidad en contextos de suelos arcillosos con condiciones reales de campo en Pumamarca.

➤ **Importancia por viabilidad**

Importancia por viabilidad está basado en la necesidad de asegurar la integridad de las personas que viven habitan dentro de las edificaciones del sector de Pumamarca.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en suelos cohesivos mejora la capacidad de carga, modifica favorablemente los parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión), en suelos cohesivos con fines de cimentación de acuerdo con las teorías de Terzaghi y Meyerhof, en la localidad de Pumamarca en el año 2025.

2.4.2. Hipótesis específica

H.E.1. Los suelos cohesivos con fines de cimentación con RCD, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof presentan un mejor resultado de capacidad de carga, Pumamarca 2025.

H.E.2. La incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) en suelos cohesivos destinados a cimentación mejora el valor del ángulo de fricción interna, según los criterios de las teorías de Terzaghi y Meyerhof, en la localidad de Pumamarca durante el año 2025.

H.E.3. Los suelos cohesivos con fines de cimentación con RCD, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof presentan un mejor resultado de cohesión, Pumamarca 2025.

2.5. Variables

2.5.1. Variable 1 (Independiente)

➤ **Estabilización de suelo con RCD.**

La variable independiente corresponde a la estabilización de suelos con RCD, mejorando las propiedades mecánicas del mismo. (Tasayco Munayco, 2019).

2.5.2. Variable 2 (Dependiente)

➤ **Teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones.**

La variable dependiente se fundamenta en las teorías propuestas por Terzaghi y Meyerhof, mediante las cuales es posible determinar la capacidad admisible del suelo considerando factores como el factor de seguridad, el ángulo de fricción interna, en el proceso de ejecución de la presente investigación, estos valores fueron obtenidos a través del uso de programas de correlación bastante prácticos como es el caso del Dynamic.

La capacidad de carga que presenta un determinado suelo se define como la presión máxima que puede soportar el mismo bajo una cimentación sin experimentar una falla de corte en el momento ni asentamientos excesivos. (Das, 2018).

Tabla 1

Operacionalización de las variables de la investigación.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>Variable Independientes</p> <p>Estabilización del suelo con RCD.</p>	<p>Es una técnica que mejora las propiedades mecánicas del terreno al incorporar materiales granulares provenientes de hormigón, ladrillo y otros desechos de obra. Estos residuos, al mezclarse con suelos cohesivos, incrementan la fricción interna y reducen la compresibilidad, lo que se traduce en un aumento significativo de la capacidad de carga y la estabilidad estructural de la cimentación. Diversos estudios han demostrado que la adición de RCD puede incrementar la capacidad portante del suelo en más del 30%, además de contribuir a la sostenibilidad al reutilizar materiales que, de otro modo, serían desechados Zavaleta Benites, C., & Sánchez Aponte, J. (2019).</p>	<p>Se reemplaza un suelo natural con suelo arcilloso mejorado con RCD, tomando en cuenta el nivel de compactación y el espesor del estrato que este representa.</p>	<p>D1: Caracterización del suelo</p> <p>D1: Caracterización del RCD</p> <p>D1: Ensayo DPL Y prueba de densidad de campo.</p>	<p>I1: - Contenido de humedad - Límites de consistencia. - Granulometría. - Clasificación del suelo. - Densidad - Absorción.</p> <p>I2: - Contenido de humedad - Límites de consistencia. - Granulometría. - Clasificación del RCD - Densidad - Absorción.</p> <p>I1: - Número de golpes - Longitud de penetración del DPL - Ensayo de densidad de campo por el método de cono de arena.</p>
<p>Variables dependientes</p> <p>Teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones</p>	<p>La capacidad de carga del suelo, es el límite de esfuerzo vertical que puede soportar un suelo antes de presentar falla por corte. (DAS, 2020)</p> <p>El ángulo de fricción interna del suelo es la resistencia que este presenta a un esfuerzo horizontal (DAS, 2020)</p> <p>La cohesión del suelo es la propiedad que describe la capacidad de las partículas del suelo para adherirse entre sí. (Pérez, 2023)</p>	<p>Se determina a través del ensayo DPL aplicando la ecuación de OSAKI y la teoría de Terzaghi.</p> <p>Se realiza a través del ensayo de corte directo, aplicado un esfuerzo horizontal a una muestra inalterada.</p> <p>Se realiza con los ensayos de límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad.</p>	<p>D1: Capacidad de carga.</p> <p>D2: Ángulo de fricción interna</p> <p>D3: Cohesión</p>	<p>I1: - Carga ultima (q ult). - Carga Admisible (q Adm).</p> <p>I2: - Angulo de fricción (ϕ) - Peso Unitario (γ)</p> <p>I3: - Cohesión (C)</p>

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

A nivel internacional

Según la Investigadora Mexicana Jiménez Rosas, en su tesis de post grado denominado “Reintegración de los RCD como agregado grueso con base al análisis de sus resistencias mecánicas”, traza como objetivo la posibilidad de reutilizar los residuos de construcción y demolición como parte de material de construcción, evaluando su comportamiento mediante ensayos de compresión, la metodología es de carácter Experimental. Demostrando como resultados que el RCD alcanzó niveles entre el 3% al 7% de capacidad de carga respecto a los suelos estabilizados sin RCD, mostrando que el material puede tener comportamiento estructural adecuado dentro de los parámetros analizados. Así mismo concluye que existe la posibilidad de utilizar con éxito los RCD como agregado en concreto y estabilización de suelos, lo cual representa una alternativa viable para el aprovechamiento de esto residuos y una contribución a la reducción del impacto ambiental. Finalmente recomienda. Continuar investigando el uso de los RCD como agregado en concretos y suelos estabilizados para optimizar sus propiedades mecánicas. (Jimenez Rosas, 2024)

Según el investigador colombiano Alzate Rodriguez, en su tesis denominada “Análisis comparativo de la gestión de residuos de construcción y demolición

(RCD), en cuatro países de Latinoamérica”, traza como objetivo analizar la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Argentina, Brasil, Colombia y México, considerando su contexto urbano y normativo, con el fin de identificar tendencias, problemáticas y avances relacionados con la planificación, tratamiento y disposición final de estos residuos. Para esto utiliza una metodología de carácter descriptivo, Obteniendo resultados en el cual se indican que: Brasil y Colombia cuentan con normativas específicas sobre la gestión de RCD, basadas en principios de economía circular, así mismo; México tiene normativa solo en su capital y Argentina carece de un marco normativo nacional específico para estos residuos. Los resultados muestran que Brasil y Colombia cuentan con sistemas de control para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), fundamentadas en principios de economía circular. México tiene regulación únicamente en su capital, mientras que Argentina carece de un marco normativo nacional específico para estos residuos. Además, se identifica un alto potencial para la valorización de los RCD como materia prima en la construcción, lo que podría disminuir el uso de recursos naturales y los impactos ambientales negativos así mismo concluye que existe un alto potencial de valorización de los RCD como materia prima para la construcción, lo cual podría reducir el uso de recursos naturales y minimizar impactos ambientales negativos. También la investigación sobre RCD es clave para respaldar su reincorporación al ciclo productivo, especialmente en contextos urbanos donde su generación es elevada, y finalmente, Finalmente recomienda fortalecer los marcos normativos y técnicos en países con regulación limitada para lograr una gestión integral de los RCD. (Azalte Rodríguez, 2022)

Según el autor, Alam, M., en su investigación denominada “Use of Construction and Demolition Waste Material for Soil Stabilization”, menciona como objetivo Investigar los cambios en las propiedades del suelo (especialmente la resistencia) al mezclar desperdicios de construcción y demolición (RCD) en distintas proporciones (5 %, 10 %, 15 %, 20 %) con suelos débiles. Para esto utiliza una metodología de carácter experimental de nivel cuantitativo donde en laboratorio, se reemplazó parcialmente el suelo natural con residuos de RCD en esas proporciones; se realizaron pruebas geotécnicas como resistencia al corte, densidad, límite plástico, índice de plasticidad, permeabilidad etc. Como resultado menciona que se encontró que, hasta cierto grado, la inclusión de residuos de C&D mejoró las características de resistencia del suelo. Aumentó la capacidad portante, mejoró la densidad, redujo la plasticidad, etc. Así mismo concluye que: los residuos de construcción/demolición en proporciones moderadas es viable para estabilizar suelos débiles; mejora propiedades mecánicas y puede contribuir al desarrollo sostenible mediante reducción de contaminación y uso de materiales locales. Finalmente recomienda continuar investigando la proporción óptima de RCD para maximizar la mejora de las propiedades mecánicas del suelo. Además, fomentar su aplicación en proyectos de infraestructura como alternativa sostenible. (Alam, 2024)

Según el investigador Bagriacik, en su investigación denominada “A new experimental approach to the improvement of sandy soils with construction demolition waste and cement”, menciona como objetivo evaluar cómo se mejora la capacidad soporte de suelos arenosos al añadir residuos de construcción y demolición (RCD) junto con cemento, bajo condiciones experimentales de carga (fundaciones poco profundas). Para esto utiliza una metodología experimental

descriptivo de nivel correlacional donde se prepararon muestras de suelo arenoso mezcladas con diferentes porcentajes de CDW y de cemento; se realizaron pruebas de capacidad de carga bajo cimentaciones someras, probando diferentes relaciones suelo/CDW, profundidad de refuerzo (H/D). Como resultado menciona que se identificó que la proporción óptima fue aproximadamente 10 % RCD más 6 % de cemento; también se encontró que una relación de profundidad de refuerzo (H/D) de 0.75 daba buen rendimiento; los suelos mejorados mostraron mejor capacidad de carga. Así mismo concluye que el uso de RCD + cemento puede ser una forma efectiva de estabilizar suelos arenosos; hay proporciones óptimas que maximizan el beneficio; además, los tiempos recomendados de curado fueron considerados para asegurar los resultados. Se recomienda considerar los hallazgos de Bagriacik como una referencia valiosa para proyectos de mejora de suelos arenosos, dado que demuestra la eficacia del uso combinado de RCD (10 %) y cemento (6 %) en el incremento de la capacidad de carga. Además, se sugiere aplicar la relación óptima de profundidad de refuerzo ($H/D = 0.75$) y respetar los tiempos de curado para obtener resultados consistentes (Bagriacik, 2020)

El autor Souza, en su investigación denominada "Effect of the Incorporation of Recycled Aggregate from Construction and Demolition Waste on the Mechanical Strength of Silty-Cement Soil", menciona como objetivo evaluar el efecto de agregar agregados reciclados de residuos de construcción/demolición (RA) en la resistencia a la compresión no confinada (UCS) de suelos limosos-cemento, considerando también parámetros de compactación, contenido de RA, contenido de cemento, tiempos de curado. Para esto utiliza una metodología de carácter experimental donde menciona que los ensayos de laboratorio con mezclas del suelo con distintos porcentajes de agregado reciclado (10 %, 20 %, 30 %), con 5 % de cemento; se

hicieron pruebas de UCS en distintos tiempos (0, 7, 14, 28 días), con diferentes esfuerzos de compactación, para observar efecto del agregado reciclado, densidad seca máxima, tiempo de curado. Como resultados menciona que se obtuvo que, al añadir RA en esas proporciones, la resistencia UCS del suelo-cemento aumentó significativamente; los mejores resultados se vieron con ciertas proporciones que daban buena densidad seca, menor porosidad, mejora mecánica con curados más largos. Así mismo concluye que la inclusión de agregados reciclados de RCD en suelos silty-cemento es viable para mejorar la resistencia mecánica, siempre que se controlen factores como contenido de cemento, esfuerzo de compactación y tiempo de curado. Puede servir en aplicaciones geotécnicas y pavimentación; además aporta a la gestión de residuos y sostenibilidad. Se recomienda tomar como referencia el estudio de Souza, ya que evidencia que la incorporación de agregados reciclados de RCD mejora significativamente la resistencia mecánica de suelos limosos. Se sugiere aplicar proporciones controladas de RA y cemento, junto con adecuados tiempos de curado y compactación. (Souza, 2024)

A nivel nacional.

Según Zavaleta y Sánchez, en su investigación denominada “Estabilización de suelos con residuos de la construcción y demolición al 75% con fines de cimentación en la urbanización Villa Las Praderas”, trazan como objetivo analizar el incremento de la capacidad portante de suelos granulares sin límites de consistencia mediante la adición de RCD al 75%, con fines de cimentación. Utilizando una metodología de carácter cuantitativo de nivel experimental. Manifestando como resultado que: La aplicación de RCD en la proporción estudiada permitió incrementar la capacidad de carga del suelo hasta en un 32% respecto a los sondeos de control, mejorando la resistencia y reduciendo la

deformabilidad. Así mismo concluye que: El uso de RCD es una técnica viable para mejorar suelos de baja estabilidad, además de contribuir a la reducción de residuos de demolición en el medio ambiente y finalmente recomienda que estabilizar el suelo por material granular o residuos de la construcción y demolición (RCD) por presentar componentes o partículas como el cemento y materiales granulares de mayor diámetro encontrados en el concreto reciclado, mejorando su capacidad de soporte del suelo (Zavaleta Benites, C. & Sánchez Aponte, J., 2019)

Según los investigadores Huamán y Paredes, en su investigación denominada "Mejoramiento de la capacidad de carga de suelos arcillosos mediante adición de material granular reciclado en la ciudad de Huancayo", traza como objetivo la determinación de la influencia de la adición de material granular reciclado, proveniente de restos de concreto triturado, en la capacidad de carga de suelos arcillosos de baja plasticidad. Para esto utiliza una metodología de carácter experimental. Donde como resultado menciona que: La adición de 40% de material granular reciclado incrementó la fricción interna del suelo en 5° y la cohesión aparente en un 18%, lo que derivó en un aumento promedio de la capacidad portante del 28%. Obteniendo, como conclusión también menciona que: La incorporación controlada de material granular reciclado mejora significativamente las propiedades mecánicas de suelos cohesivos, siendo una alternativa sostenible para cimentaciones superficiales. Se recomienda incorporar material granular reciclado en suelos arcillosos de forma controlada.

Esto permite mejorar sus propiedades mecánicas y aumentar la capacidad de carga. Además, constituye una alternativa sostenible para cimentaciones superficiales (Huamán Torres, L. & Paredes Quispe, M, 2021)

Según la autora Huacaina Quispe, en su investigación denominada “Estabilización de subrasante mediante uso de residuos de construcción y demolición - Jirón Amazonas Distrito de Chilca”, menciona como objetivo evaluar cómo se mejora la subrasante de suelos del tramo Jirón Amazonas (Chilca, Huancayo) mediante la adición de residuos de construcción y demolición (ladrillo, concreto, revestimiento) en distintas dosificaciones (20%, 30%, 40%). Utilizando una metodología de carácter Experimental donde se menciona la aplicación de ensayos de laboratorio donde se mezcló suelo inalterado con los distintos RCD en los porcentajes mencionados; se realizaron pruebas de capacidad de soporte, en particular el ensayo CBR; también caracterización de suelo. Como resultado menciona que mejora significativa en la capacidad de soporte: se obtuvo un CBR al 95% de la densidad máxima seca de 9.0% con residuos de ladrillo, 11.5% con residuos de concreto, y 17.1% con residuos de revestimiento. Así mismo concluye que la combinación de suelo con RCD (dependiendo del tipo de residuo) es una alternativa viable para estabilizar subrasantes; además de mejorar soporte, también ofrece un beneficio ambiental al reducir residuos y finalmente recomienda, que se debe realizar un correcto estudio de suelos, siguiendo las normas establecidas por el MTC, y así evitar errores considerables en las propiedades del terreno en estudio, esto nos permitirá elegir un método adecuado de estabilización recomendado por el ministerio de transportes y comunicaciones, se recomienda usar el método de estabilización de subrasante con adición de residuos de construcción y demolición solo si el tipo de suelo es similar al estudiado en esta tesis (Quispe, 2020)

Los Autores moqueguanos Vizcarra y Paredes, en su investigación denominada “influencia por adición de residuos de construcción y demolición en

propiedades físico-mecánicas de suelos en la provincia de Ilo”, menciona como objetivo evaluar la influencia de la adición de diferentes porcentajes de RCD (0%, 3%, 7%, 15%) sobre las propiedades físico-mecánicas de suelos (arcilloso y arenoso) de Ilo. Para esto utiliza una metodología de carácter experimental donde menciona que los ensayos de laboratorio cuasi-experimentales con muestras de suelo mezcladas con RCD en los porcentajes dados; realización de pruebas de plasticidad, compactación, densidad seca, humedad óptima, capacidad de soporte (CBR) para suelo arcilloso y arenoso. Como resultado menciona que se observaron cambios en los límites de plasticidad para el suelo arcilloso (líquido, plástico e índice de plasticidad); la densidad seca máxima fue $\sim 1.91 \text{ g/cm}^3$ (arcilloso) y $\sim 1.90 \text{ g/cm}^3$ (arenoso); Humedades óptimas $\sim 11.90\%$ y 10.19% ; los valores de CBR fueron 14.1% para suelo arcilloso y 38.3% para suelo arenoso en las mejores condiciones. Así mismo concluye que la adición de RCD tiene efecto significativo en mejorar las propiedades físicas-mecánicas de los suelos; es aplicable para obras viales o pavimentaciones, especialmente cuando se usan porcentajes adecuados de mezcla finalmente recomienda que resultados del estudio indican que la adición de residuos de construcción y demolición (RCD) al 15% mejora significativamente varias propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos y arenosos. Esto sugiere que la utilización de RCD no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reciclar materiales que de otro modo serían desechados. (Vizcarra & Paredes, 2024)

El autor Chávez, en su investigación denominada “Influencia de la adición de residuos de construcción y demolición para la estabilización de subbase en pavimento flexible, Ate, 2024”, menciona como objetivo determinar cómo la adición de RCD en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10%, 15%) afecta a la subbase de

pavimento flexible en Ate, Lima. Para esto utiliza una metodología de carácter cuantitativa de diseño cuasi experimental; se elaboraron 48 especímenes de material granular con y sin adición de RCD; se realizaron ensayos de granulometría, de Proctor modificado, límites de Atterberg, y CBR al 95% de densidad seca máxima. Como resultado menciona que los porcentajes de RCD de 0%, 5%, 10%, 15% respecto al agregado grueso, los valores de densidad seca fueron aproximadamente 2.18, 2.23, 2.25 y 2.26 g/cm³; índices de plasticidad de 8, 7, 5.67 y 5.67%; los valores CBR al 95% fueron de 27.17%, 30.57%, 33.07% y 33.23%, respectivamente. El porcentaje óptimo resultó ser el **15 %** de adición de RCD. concluye que la adición de residuos de construcción y demolición mejora las propiedades de la subbase en pavimento flexible; el porcentaje de 15% de RCD mostró mejores resultados en densidad, plasticidad y resistencia (CBR); su uso puede ser viable técnicamente para capas de subbase, contribuyendo también a la sostenibilidad. Finalmente recomienda incorporar 15% de RCD en la subbase de pavimentos flexibles, ya que este porcentaje mostró mejores resultados en densidad, plasticidad y resistencia (CBR) (Chavez Lope, 2024)

Antecedente regional.

Según los investigadores de la UAC Jancco Zapata y Puma Olivera, en su tesis denominada “ Influencia de residuos sólidos de construcción y demolición en las propiedades físico RCD – mecánico en la subrasante de la trocha carrozable del Centro Poblado de Qaywa Ccopi, Ccatcca, 2024”, se traza como objetivo evaluar la influencia de los residuos sólidos de construcción y demolición, específicamente el concreto reciclado de pavimentos, en las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso utilizado como subrasante en la trocha carrozable del centro poblado de Qaywa Ccopi, distrito de Ccatcca. Aplicando como metodología

el tipo de investigación Aplicativa de enfoque cuantitativo. Donde los resultados con la adición del 10% de concreto reciclado al suelo arcilloso se obtienen los siguientes resultados: Reducción del índice de plasticidad: de 16.60% a 10.23%, Incremento del índice CBR: de 3.57 a 12.44 (al 95% de la densidad seca máxima), Reducción del porcentaje de expansión: de 0.94% a 0.79%. Así mismo concluye que la adición de concreto reciclado mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso, así mismo el suelo inicialmente clasificado como no apto para subrasante pasó a ser adecuado para su uso estructural en la trocha carrozable. Finalmente recomienda utilizar residuos de concreto en una proporción del 20% para el mejoramiento de la subrasante, dado que los resultados indican una mejora notable en las propiedades físico mecánicas del suelo (Jancco Zapata & Puma Olivera, 2024).

Según Casanfranca William, en su tesis denominada “Análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos, usando ensayo DPL convencional y artesanal en el sector de Urco – Calca” tiene como objetivo determinar el resultado del análisis comparativo de la capacidad de carga de suelos cohesivos usando DPL convencional y artesanal en el sector de Urco, distrito de Calca, provincia de Calca, departamento del Cusco. Aplicando como metodología el tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo del tipo experimental. Donde los resultados indicaron que el ensayo DPLA presenta una trabajabilidad de 120% en comparación al ensayo PDL, el costo de adquisición y uso del equipo resulta un 70% más económico. concluye que; El ensayo PDLA presenta resultados más eficientes en la obtención de capacidad de carga de suelos cohesivos. Finalmente recomienda Considerar que el ensayo con DPL artesanal solo aplica a suelos

cohesivos con presencia de arcilla de plasticidad media – alta arenosa, no aplica a suelos granulares no cohesivos.

Antecedente local.

Según Miguel Días, Anibal Huamán y Alexia Yabar en su investigación titulada “Estabilización de suelo por asentamiento en la quebrada Saphy en el Distrito y provincia de Cusco” tienen como objetivo el estudio y análisis de estabilidad del suelo utilizando bolonería de concreto reciclado, usando métodos de estabilización basados en el ángulo de fricción usando el Software Geo5, obtenido resultados de ángulo de fricción interna de 37°, 32° y 29° en la parte inferior. En base a los datos obtenidos se pudo concluir que la zona en estudio presenta una capacidad de estabilidad superior en un 2.5% a utilizar bolonería de concreto producto de las demoliciones y sugiere la implementación de estos métodos en otros sectores. Finalmente recomienda. utilizar bolonería de concreto proveniente de demoliciones en el mejoramiento de suelos, dado que en la zona de estudio se obtuvo un incremento de 2.5% en la estabilidad (Días, Huaman, & Yabar, 2021).

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Variable Independiente

3.2.1.1. Estabilización de suelos con RCD (Clase A)

El suelo con fines de cimentación (Aplicado a la construcción)

Es un material natural no consolidado que se encuentra en la corteza terrestre que al mismo tiempo se ha ido acumulando a través de la combinación de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire, cuya estructura y comportamiento mecánico resultan de los procesos geológicos e hidrológicos que lo originaron.

La respuesta del suelo frente a cargas específicas, deformaciones y cambios de humedad en determinados tipos de suelo, marca la seguridad y estabilidad de una obra de edificación. De ella dependen el dimensionamiento de las cimentaciones, Suelos, carreteras, muros, presas y plataformas, que sostienen no solo estructuras, sino también la confianza y la vida de las personas.

- ***Tipologías de inestabilidad:***

Los tipos de estabilidad de los suelos, no solo dependen de la naturaleza del mismo, sino también como estos reaccionan a diferentes sometimientos estructurales como es el caso de la aplicación de cargas externas, niveles freáticos o transformación en la propia morfología. (Jancco Zapata & Puma Olivera, 2024)

- ***Análisis de la seguridad:***

Considerando la variabilidad de los resultados en la geotécnica, el análisis de seguridad está basado en los factores de margen de error que permiten tomar medidas preventivas en el diseño de cimentaciones de las edificaciones.

En el cálculo de estructuras, el análisis de la seguridad se realiza mediante el método de los coeficientes de seguridad parciales, tomando en consideración lo que indica la norma, tomando como consideración las acciones y minorando las resistencias con el fin de tomar en cuenta las medidas de mitigación correspondiente. El proyecto geotécnico puede seguir también dicha vía; de hecho, cada vez son más las normativas que recogen dicha consideración. En Europa, el Euro código 7, contempla el método de los coeficientes parciales para el proyecto geotécnico, del mismo modo que, en Estados Unidos, la LRFD (Load and Resistance Factor Design) AASHTO enfoca los cálculos de ingeniería bajo este punto de vista. El factor de seguridad global o único engloba la imprecisión tanto en las acciones como en las resistencias, los modelos de cálculo y la incertidumbre

del error humano. La fuerza desestabilizadora más importante será el peso de la masa deslizante, a la cual se le suman otras fuerzas, como las sobrecargas de estructuras o el empuje del agua en las grietas. La principal fuerza estabilizadora será la resistencia de corte del terreno en la superficie de deslizamiento. Actualmente, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica).

- ***Métodos de cálculo de estabilidad:***

Cálculos con métodos de equilibrio límite: Los modelos de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Este método se caracteriza principalmente en la aplicación de límite de ángulo de fricción que puede soportar antes de colapsar, considerando sus fallas al volteo, inclinación, etc. Este método se basa en el análisis de suelos naturales que presentan comportamientos estructurales al interactuar con sus propias cargas y cargas externas como es el caso de fundaciones.

Cálculos con modelos numéricos: En algún caso particular, puede ser interesante cuantificar las deformaciones producidas por un determinado sueño. Por ejemplo, si existe un edificio muy próximo a la coronación del Suelo, puede ser necesario estudiar las deformaciones inducidas en la cimentación del edificio. En esos casos los modelos de equilibrio límite únicamente garantizan la estabilidad del Suelo, pero no permiten resolver el problema del efecto de la excavación en el edificio. De ser así, puede ser recomendable acudir a modelos de diferencias finitas o elementos finitos más complejos, que estudian el estado tensional de los

elementos y sus deformaciones. Este tipo de métodos requiere una discretización previa del problema mediante una malla. En primer lugar, se modela la sección tipo de estudio: se establecen los parámetros de las diferentes unidades geotécnicas (c , ϕ , E , ν), y se definen las condiciones iniciales del estado tensional del terreno y la presencia de nivel freático. Posteriormente, se simula la secuencia constructiva. Los métodos numéricos aplican el método “phi-reduction”, con una reducción de la resistencia de todos los materiales, aplicando un factor de seguridad F hasta alcanzar un valor en el cual el proceso no es convergente.

Estabilidad del suelo con RCD

Refiere al mejoramiento de suelos cohesivos con RCD (Residuos de construcción y demolición). Este incremento en la capacidad de carga se produce al mejorar las características granulométricas de una arcilla con la incorporación de partículas de desmonte de mayor diámetro, así mismo, también el aumento de la densidad contribuye en el mejoramiento de la capacidad portante del mismo, brindando estabilidad y disminuyendo las posibilidades de asentamiento.

Elección del tipo de RCD para la presente investigación:

Residuos de construcción y demolición inertes: RCD – RI

Los residuos de construcción y demolición inertes son aquellos residuos generados en actividades de construcción y demolición producidos en el sector de Pumamarca que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, y que en definitiva no son peligrosos para la salud humana o el medio que nos rodea. Su principal característica es que no se descomponen, no arden ni reaccionan químicamente a diferentes agentes, y su lixiviado no contamina aguas ni suelos específicos.

Composición

- Hormigón (fragmentos de estructuras, cimentaciones, soleras)
- Ladrillos (enteros o fragmentados)
- Tejas y cerámicas (pavimentos, revestimientos)
- Tierra y piedras no contaminadas (de excavaciones)
- Asfalto no contaminado
- Vidrio plano o de construcción

Estos materiales suelen representar más del 70% del volumen total de residuos en obras de demolición o renovación.

Generación de RCD – RI

La generación de los residuos de construcción y demolición inertes proviene de distintas actividades del sector de la industria de la construcción:

- Demoliciones de construcciones de material noble.
- Mantenimiento de interiores en edificaciones de sistemas.
- Excavaciones y movimientos de tierra superficiales en la zona.

Gestión de los RCD Inertes

La correcta gestión de los RCD inertes sigue una serie de etapas que buscan minimizar el impacto ambiental:

- Separación en origen

Separar los materiales inertes desde el lugar de obra para evitar su contaminación con residuos peligrosos o mezclados.

- Transporte a planta de tratamiento

Los residuos se trasladan a plantas de reciclaje autorizadas para su procesamiento.

- **Trituración y clasificación**

Se realiza una trituración mecánica para reducir el tamaño del material y luego se clasifica por granulometría, en el presenta caso en particular se realizó la trituración y la clasificación de los suelos con partículas de entre $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

- **Legislación Aplicable**

La gestión de RCD inertes está regulada por diferentes normativas. En muchos países se basa en principios establecidos por directivas de la Unión Europea o leyes nacionales. En España, por ejemplo, la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular y el Real Decreto 105/2008, regulan su producción y gestión. Arcilloso.

3.2.1.2. Caracterización del suelo - Ensayos.

- **Obtención de muestras.**

Es un proceso en el cual, se realizó la recolección de porciones de tierra en calidad de testigos, tomando en cuenta las normativas vigentes. (Das, 2018)

- **Contenido de humedad**

Este ensayo es uno de los factores fundamentales el el proceso de caracterización del mismo, ya que, dependiendo de la clasificación, el contenido de humedad de un suelo puede influir directamente en el comportamiento estructural del mismo. (Das, 2018)

- **Granulometría.**

El ensayo de granulometría de los suelos tiene como objetivo encaminar la clasificación del mismo con el fin de conocer las condiciones mecánicas y físicas del suelo con el fin de establecer posibles comportamientos específicos, este proceso se realiza conociendo el

coeficiente de uniformidad acompañado de los diferentes parámetros en función a la cantidad de malla que pasa por los diferentes tamices según se detalla en la norma ASTM. (Gutierrez Rodriguez, 2023)

- ***Límites de consistencia o de atterberg.***

Límite Líquido (L.L).

El Límite Líquido (LL) es el contenido de humedad al cual el suelo cambia de una consistencia plástica a una líquida, es decir el punto máximo con que cambia de características mecánicas.

Según la ASTM D4318-17, este límite se determina mediante el aparato de Casagrande, considerándose como LL el porcentaje de humedad en el que la ranura estándar abierta en la muestra se cierra 12 ± 1 mm bajo un número determinado de golpes aplicados a velocidad constante.

Límite Plástico (L.P.)

El Límite Plástico (LP) es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia del estado semisólido al estado plástico.

Considerando las características granulométricas específicas de algunos suelos, estos pueden o presentar límites de consistencia. en el caso en particular de la presente investigación, el suelo con cohesivos de plasticidad considerable lo cual dejan en evidencia en definida los niveles de plasticidad e índice de consistencia de los mismos.

Índice de Plasticidad (I.P.)

Matemáticamente, simplemente refiere a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo en estudio.

- **Clasificación de suelos.**

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento Ingenieril, los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada.

Clasificación S.U.C.S.

Esta clasificación nos permite identificar suelos con el fin de realizar análisis para el tipo de cimentaciones o fundaciones que se pueden considerar, en ese entender, el hecho de ponerles nombre a un suelo según SUCS, nos permite identificar el comportamiento aplicado en el término denominado “Dime como te llamas... y te diré cuál es tu comportamiento físico y mecánico”.

Los suelos granulares está conformado de grava y arena, para la separación se basa en el tamiz N°4. Menor de 50% pasa la malla N° 4 el suelo es grava y mayor de 50% pasa la malla N° 4 el suelo es Arena, y siguiendo la carta de flujo para la clasificación de suelos granulares se llega a clasificar el suelo, Los símbolos de grupo para suelo tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC - GM, GW - GM, GW - GC, GP- GM y GP-GC.En el siguiente cuadro se muestra el cuadro para la clasificación por la SUCS

Figura 1

Clasificación de suelos - método Sucs.

T. Suelo	SUCS	Descripción	AASHTO	Caract. Principales	Usos comunes
Grava bien graduada	GW	Grava con buena distribución de tamaños	A-1-a	Alta capacidad de carga, buen drenaje	Bases de características, rellenos estructurales
Grava mal graduada	GP	Grava con poca variación de tamaño	A-1-b	Menor cohesión, buen drenaje	Subbase, rellenos
Arena bien graduada	SW	Arena con buena distribución	A-1-b	Alta densidad, buen drenaje	Bases, subbases
Arena mal graduada	SP	Arena uniforme	A-3	Drena bien pero baja capacidad de carga	Rellenos, drenajes
Arena limosa	SM	Arena con contenido de limo	A-2-4 / A-2-5	Baja permeabilidad, resistencia variable	Subbases (con mejora)
Arena arcillosa	SC	Arena con contenido de arcilla	A-2-6 / A-2-7	Más cohesiva, menor drenaje	Rellenos (mejorados)
Limo	ML	Suelo fino no plástico o débilmente plástico	A-4 / A-5	Baja resistencia, alta compresibilidad	Relleno no estructural
Arcilla de baja plasticidad	CL	Suelo cohesivo, plasticidad moderada	A-6	Alta cohesión, se expande con agua	Rellenos y bases con estabilidad
Arcilla de alta plasticidad	CH	Muy cohesiva, se expande mucho	A-7-6	Mala capacidad de carga, muy comprensible	No recomienda sin tratamiento
Limo orgánico	OL	Con alto contenido de materia orgánica	A-8	Baja resistencia, compresible, inestable	No se recomienda para estructuras

Nota: Casagrande, 1981

Clasificación AASHTO

Ante la diversidad de clasificación de suelos, en los EE.UU. se ha establecido, la recomendada en 1944 por el Highway Research Board, cuyas siglas son H.R.B. y la AASHTO que representa a todos los Departamentos de carreteras en ese País, han adoptado la clasificación que se denomina clasificación de suelos AASHTO.

La clasificación AASHTO toma como base, el análisis granulométrico, límite líquido y Índice de plasticidad de un suelo, la evaluación de cada grupo se hace por medio de su índice de grupo, el cual es calculado mediante la fórmula empírica que indicamos más adelante.

Los suelos se clasifican en 7 grupos, de A-1 al A-7, los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3, son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasa el tamiz N° 200. Los suelos más del 35% pasa el tamiz N° 200 son materiales limo arcillosas, y están dentro de este grupo los suelos A-4, A-5, A-6, A-7.

Los porcentajes máximos y mínimos que pasa el tamiz N° 10, N° 40, N° 200, nos permite clasificar el suelo en subgrupos, A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 y A-4, A-5, A-6, A-7. Seguidamente se debe tener en cuenta las características del material que pasa el tamiz N°40 (0.425 mm). Los porcentajes máximos y mínimos de límite líquido y índice de plasticidad nos permite clasificar los suelos en sub grupos. A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, y A-4, A-5, A-7-5, A-7-6.

En el siguiente cuadro se muestra una manera más sintética la clasificación de suelos por el método del AASHTO.

Figura 2

Sistema de clasificación de suelos - método AASHTO

Grupo	Desc. General	% que pasa N° 200	Limite L.	I. Plasticidad	Calidad como subrasante
A-1-a	Grava y arenas bien graduadas, con pocos finos	≤ 15%	-	-	Excelente
A-1-b	Arenas gruesas y finas con pocos finos	≤ 25 %	-	-	Excelente
A-1-4	Arena - grava con limos de baja plasticidad	≤ 35 %	≤ 40	≤ 10	Buena
A-1-5	Arena - grava con limos de alta plasticidad	≤ 35 %	> 40	≤ 10	Buena

Nota: Casagrande, 1981

3.2.1.3. Ensayo DPL y prueba de densidad de campo.

- **Ensayo DPL convencional.**

El Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL) es una técnica de exploración geotécnica utilizada para evaluar de manera rápida y económica la compactación y resistencia relativa de los suelos. La Norma Técnica Peruana E.050 Suelos y Cimentaciones reconoce al DPL como un método de prospección de campo complementario para la caracterización del terreno, especialmente en suelos de baja a mediana resistencia.

Este método, si bien no presenta altos niveles de exactitud, los parámetros se encuentran normalizados, los cuales nos permiten de alguna manera tomar en consideración los resultados, así mismo existen instrumentos de cálculo que nos permiten obtener resultados más confiables a través de las correlaciones de los mismos (Norma E. 0.50, 2018)

- **Densidad de campo**

Este ensayo se realiza utilizando una arena de granulometría conocida a través del uso de un cono gradado, tomando en cuenta una simple analogía de densidad pre establecida por la arena y por aquella que presenta el suelo.

La densidad de campo según la norma ASTM D1556 se determina mediante los métodos específicos, que calcula la densidad húmeda y seca de un suelo *in situ* excavando un orificio de volumen conocido y rellenándolo con arena de densidad calibrada. El procedimiento implica pesar el suelo extraído, medir su humedad, determinar el volumen del orificio usando el peso de la arena y su densidad calibrada, y luego calcular la densidad seca del suelo. (Norma ASTM D-1556).

3.2.2. Variable dependiente:

3.2.2.1. Teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones.

Teoría de Terzaghi

La teoría de Terzaghi representa el pilar sobre el cual se construye la mecánica de suelos moderna y el entendimiento de la capacidad de carga en las cimentaciones superficiales. Karl Terzaghi nos enseñó a “escuchar” al suelo, al explicar que existe un límite seguro de presión que una cimentación puede transmitir al terreno sin provocar fallas por corte ni asentamientos que pongan en riesgo la estabilidad de una estructura.

Su planteamiento, desarrollado a partir del estudio de una zapata corrida sobre un suelo homogéneo en equilibrio plástico, permitió comprender que la resistencia del terreno no es un valor abstracto, sino el

resultado del equilibrio íntimo entre la cohesión del suelo, su peso unitario y la fricción interna entre sus partículas. Desde esta visión, la capacidad portante nace de la suma de fuerzas que el propio suelo ofrece para sostener la estructura: la cohesión que lo mantiene unido, la fricción que le da estabilidad y el peso del material que cubre la base de la cimentación (Terzaghi, 1943).

- **Proceso de la aplicación de la teoría de Terzaghi para la determinación de la capacidad de carga**

Los procesos de Terzaghi para la determinación de carga dependen en gran magnitud por las diferentes interacciones y consideraciones que se toman en cundo al momento de realizar el proceso de determinación de la capacidad de carga del suelo.

Esta investigación tiene como objetivo describir el proceso de aplicación de la teoría de Terzaghi, detallando los principios teóricos, fórmulas involucradas, condiciones de aplicación y pasos metodológicos que permiten estimar la capacidad de carga de un terreno a partir del software LoadCap.

Fórmula de Terzaghi para las Zapatas.

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma$$

Donde:

- q_u : Capacidad de carga ultima (kN/m²)
- C : Cohesión del suelo (kPa)
- γ : Peso unitario del suelo (kN/m³)
- D_f : Profundidad de cimentacion (m)
- B : Ancho de zapata (m)

- N_c, N_q, N_γ : Factor de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna (ϕ)

Proceso de Aplicación Paso a Paso:

Paso 01:

- Realizar exploración geotécnica (sondeos, ensayos in situ y laboratorio)
- Determinar propiedades del suelo:
- Cohesión (c)
- Peso unitario (γ)
- Ángulo de fricción interna (ϕ)
- Clasificación del suelo

Paso 02:

- Tipo de cimentación: zapata corrida o aislada
- Profundidad de desplante (D_f)
- Ancho de la zapata (B)

Paso 03:

Usar formular empíricas de Terzaghi con factores del ángulo diferentes a 0.

Paso 04:

Sustituir los valores obtenidos en la fórmula de Terzaghi.

Paso 05:

Se aplica un factor de seguridad (FS), generalmente entre 2.5 y 3:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

Teoría de Meyerhof

So bien esta teoría no es precisamente utilizada en nuestro sector, representa un valor bastante referente que aumentan la credibilidad de los resultados que venimos trabajando.

Meyerhof, básicamente lo que realizó es la aplicación de la teoría de Terzaghi incorporando factores de seguridad que permiten un análisis más realista de la capacidad de carga de los suelos. Fritz Meyerhof sostuvo que la capacidad portante de una cimentación no solo depende de las propiedades intrínsecas del suelo, como la cohesión, el peso unitario y el ángulo de fricción interna, sino también de la forma de la zapata, la profundidad de empotramiento y la inclinación de la carga aplicada. Su formulación introdujo factores de corrección que consideran las condiciones geométricas y de carga, mejorando así la precisión en el cálculo de la capacidad de carga última. Gracias a estos aportes, la teoría de Meyerhof permitió una mejor representación del comportamiento real de los suelos bajo cimentaciones, constituyéndose en un modelo de referencia para el diseño geotécnico moderno (Meyerhof, 1951) .

- **Proceso de la aplicación de la teoría de Meyerhof para la determinación de la capacidad de carga.**

La capacidad de carga del suelo es uno de los aspectos más críticos en el diseño de cimentaciones. Diversas teorías han sido desarrolladas para su cálculo, siendo una de las más utilizadas la propuesta por G. G. Meyerhof en 1951 y ampliada posteriormente en 1963. A diferencia de la teoría de Terzaghi, la formulación de Meyerhof incluye factores de corrección para tener en cuenta la forma de la cimentación, la inclinación de la carga, la profundidad de la cimentación y la inclinación del terreno.

Esta investigación desarrolla el proceso detallado de aplicación de la teoría de Meyerhof, explicando sus fundamentos, variables involucradas, pasos metodológicos, y un ejemplo práctico para el cálculo de la capacidad

de carga última y admisible de cimentaciones superficiales a partir del software LoadCap.

Proceso de Aplicación paso a Paso

Paso 01:

- Realizar exploración geotécnica.
- Determinar parámetros:
- Cohesión (c)
- Peso unitario (γ)
- Ángulo de fricción interna

Paso 02:

- Tipo: Aislada o corrida
- Dimensiones: B (ancho), L (largo), D_f (profundidad)
- Carga aplicada: vertical o inclinada

Paso 03:

Meyerhof utiliza las mismas fórmulas base que Terzaghi para obtener:

- $N_q = e^{\pi \tan \varphi} * \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$
- $N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi}$
- $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \varphi$

Paso 04:

a) Factor de forma:

- Para zapatas rectangulares:
- $S_c = 1 + 0.2(B/L)$
- $S_c = 1 + 0.1(B/L)$
- $S_c = 1 - 0.3(B/L)$

b) Factor de profundidad:

- $d_c = 1 + 0.2(D_f/B)$
- $d_q = 1 + 0.1(D_f/B)$

- $d_\gamma = 1 +$ (usualmente)

c) Factor de inclinación:

Para carga vertical centrada:

- $i_c = i_q = i_\gamma = 1$

3.3. Definición de términos

- **Capacidad de carga**

La capacidad de carga del suelo a través del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) se determina de forma indirecta, a partir de la resistencia a la penetración del terreno obtenida por el número de golpes necesarios para hincar una punta cónica estandarizada en el suelo. Este ensayo permite evaluar la compacidad relativa y la resistencia al corte del terreno in situ, proporcionando una estimación de su capacidad portante determinado mediante el software LoadCap.

Según Rodríguez Ortiz y Medina el DPL es un método empírico que “permite correlacionar el número de golpes (Ndpl) con parámetros geotécnicos del suelo, tales como la resistencia a la penetración estándar (NSPT), la capacidad portante y el módulo de deformación”. De esta manera, el ensayo se convierte en una herramienta práctica para el diseño preliminar de cimentaciones superficiales, especialmente en suelos granulares o de baja cohesión (Medina & Rodriguez , 2010).

- **Angulo de fricción interna del suelo.**

El ángulo de fricción interna (ϕ) es un parámetro geotécnico que expresa la resistencia al corte de los suelos granulares y algunos suelos cohesivos poco plásticos debido al rozamiento entre sus partículas. En el ensayo de penetración ligera dinámica (DPL), este ángulo se estima indirectamente a partir de la resistencia a la penetración, expresada en golpes por cada 10 cm, utilizando correlaciones empíricas desarrolladas para relacionar el número de golpes con la

compacidad o densidad relativa del suelo. Estas correlaciones permiten obtener un valor aproximado de φ , útil para la clasificación del terreno y para cálculos preliminares de capacidad portante y estabilidad. (Terzaghi & Peck , 1967).

El ángulo de fricción interna fue determinado mediante la fórmula propuesta por Sowers, utilizando los valores obtenidos en el ensayo Dynamic Probing el cual permitió procesar los datos de penetración, calcular el número de golpes corregido y aplicar automáticamente la correlación de Sowers para estimar el ángulo de fricción del suelo.

$$\varphi = 27^\circ + 10 * \log (N)$$

Donde:

φ = *Angulo de friccion interna*

N = *Nspt corregido*

- **Cohesión.**

La cohesión es esa fuerza calladita pero firme que mantiene unido al suelo, sobre todo en los terrenos finos como las arcillas, tan comunes en muchas zonas de nuestro país. Es la capacidad que tiene el suelo para no desarmarse, para aguantar y mantenerse estable, incluso cuando no hay una carga visible que lo esté presionando. Como bien explicó Terzaghi, la cohesión es esa parte de la resistencia que sigue presente aun cuando el esfuerzo normal es prácticamente cero, nacida de las uniones internas entre las partículas del suelo, como si se tratara de un amarre natural.

Este comportamiento refleja las interacciones físico-químicas que se dan dentro del material y que le otorgan una resistencia propia, independiente del peso que se le aplique. En la práctica geotécnica, entender la cohesión es conocer el

carácter del suelo, saber hasta dónde responde y cómo se comporta frente a una obra. Es reconocer que gracias a esa fuerza interna el terreno puede sostener taludes, soportar cimentaciones y dar seguridad a las estructuras. En pocas palabras, la cohesión convierte al suelo en un aliado de confianza, clave para construir con responsabilidad y respeto por nuestra tierra. (Terzaghi & Peck , 1967).

La cohesión fue un dato obtenido directamente del software Dynamic Probing, a partir del procesamiento de los registros de penetración realizados en campo.

Correlación para arcillas (Terzaghi & Peck)

Para arcillas blandas:

$$C_u \approx 5 * N_{spt} \text{ KPa}$$

Para arcillas firmes:

$$C_u \approx (5 \text{ a } 7) * N_{spt} \text{ KPa}$$

Para arcillas duras:

$$C_u \approx 7 * N_{spt} \text{ KPa}$$

Donde:

$$C_u = \text{Cohesion no drenada (KPa)}$$

$$N_{spt} = \text{valor spt corregido}$$

- **Perfil del suelo**

Una vez conocido los perfiles topográficos de la zona donde se realiza el estudio, y fijada, es conveniente conocer el perfil del subsuelo, es decir conocer los diferentes tipos de materiales que forma el subsuelo a diferentes profundidades. Un perfil del subsuelo, nos permite conocer la estratigrafía, espesor, clase de suelo

y roca existente en el subsuelo, así mismo nos indica la profundidad a que se encuentra las aguas subterráneas.

- ***Determinación de la densidad natural del suelo.***

La densidad natural del suelo es la relación entre la masa del suelo en su estado natural y el volumen que ocupa. Para determinarla a partir del peso específico de los sólidos (G_s), se emplean las relaciones fundamentales de la mecánica de suelos que vinculan G_s con el contenido de humedad, el índice de vacíos y la densidad del agua. A partir de estos parámetros, es posible calcular la densidad natural mediante ecuaciones que describen la composición de fases del suelo, obteniendo así un valor representativo de su estado físico, compacidad y condiciones de humedad in situ.

IV. Metodología

En esta investigación se trabajará con el método hipotético–deductivo–inductivo, partiendo de una idea inicial que se pone a prueba con la realidad. Para ello, se ha formulado la siguiente hipótesis, la cual será analizada paso a paso, contrastando la teoría con los resultados obtenidos en campo y en gabinete, aterrizando las ideas a la realidad: Los suelos cohesivos con fines de cimentación estabilizados con RCD, aplicando la teoría de Terzaghi y Meyerhof presentan propiedades mecánicas de capacidad de carga, ángulo de fricción y cohesión en Pumamarca, 2025.

El método empleado consiste en arrancar de afirmaciones planteadas como hipótesis, las cuales no se dan por ciertas a la primera, sino que se ponen a prueba con criterio y responsabilidad. A partir de ellas se sacan conclusiones que luego se contrastan con la realidad, con los datos y con lo que se observa en el campo, para ver si realmente cuadran o no, como decimos acá. De esta manera, la investigación no se queda en la teoría, sino que se enfrenta a los hechos tal como son, permitiendo confirmar o descartar lo planteado con sustento real. (Bernal, 2018).

4.1. Tipo y nivel de Investigación

Enfoque:

Enfoque cuantitativo.

Según (Fidas Arias, 1997), El enfoque cuantitativo permite cuantificar las variables de estudio, es decir, expresarlas en números que puedan compararse y analizarse.

Diseño:

La presente investigación presenta un diseño del tipo experimental.

Nivel:

La investigación es de orientación aplicada y nivel explicativo, sin crear escenarios artificiales ni manipular las variables. Los datos se recolectaron tal como se presentan en la realidad, en el momento indicado, para conocer de manera clara y directa la capacidad portante del suelo, tal como responde en el terreno. (Méndez Álvarez, 2018)

4.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito de influencia espacial de la tesis

➤ *Ubicación geográfica*

La tesis denominada “Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teorías de Terzaghi y Meyerhof, Pumamarca, 2025”, está ubicado en el sector de Pumamarca, distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco.

Tabla 2

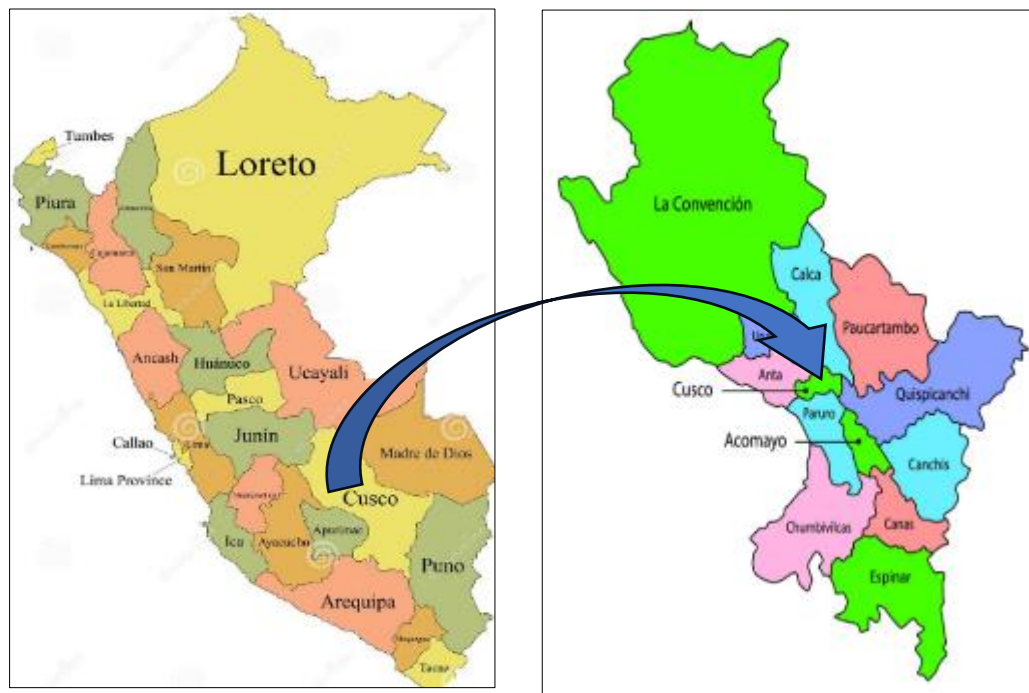
Cuadro de ubicación de investigación de la tesis

Región	: Cusco
Distrito	: San Sebastián
Sector	: Pumamarca
Altitud	: 3540.45 m.s.n.m.
Coordenadas UTM	: N: 182922.27; E: 8505256.71

La tesis de investigación se encuentra dentro de la región Cusco al sur del territorio peruano, en la provincia del mismo nombre, distrito de San Sebastián.

Figura 3

Ubicación de la Investigación a nivel departamental



Nota: Instituto Geográfico Nacional

Figura 4

Ubicación de la investigación a nivel distrital y provincial



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

➤ Extensión de la investigación

Los fines de investigación de la presente tesis se enmarcan en Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teorías de Terzaghi y Meyerhof. El ámbito temporal de la presente investigación está basado en el año 2025, dando inicio en marzo del 2025 con la etapa de formulación del Plan de Investigación y culminándose en mayo del mismo año con el informe final.

Nivel de Investigación

El alcance de la presente investigación es correlacional. La investigación correlacional es un tipo de método de investigación en el cual un investigador mide dos variables. Entiende y evalúa la relación estadística entre ellas sin influencia de ninguna variable extraña. (Méndez Álvarez, 2018).

4.3. Población y muestra

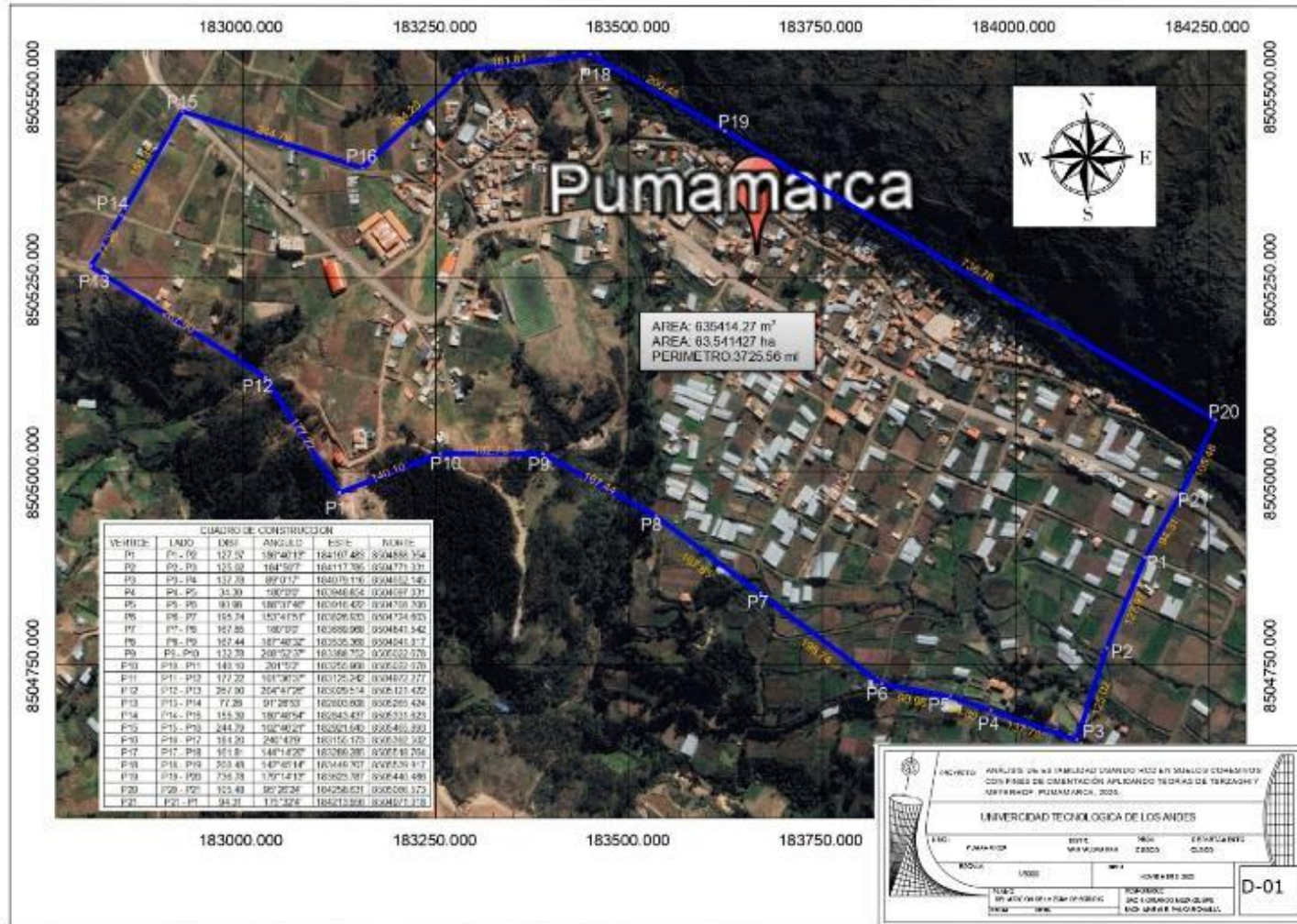
Población

La población está constituida por los suelos existentes en la comunidad de Pumamarca, en un área total 63.54 hectáreas del distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco, porque en esta zona se localizan los terrenos donde se desarrolló el estudio experimental.

La población en una investigación se define como el conjunto total de elementos, individuos o unidades de análisis que comparten características comunes y que son objeto de estudio dentro del marco de la investigación. También se denomina población de estudio, y constituye el universo sobre el cual el investigador busca describir, analizar o generalizar los resultados obtenidos (López & Pedro, 2022).

Figura 5

Delimitación de la zona de estudio.



Muestra

La muestra forma parte de un sector de la comunidad de Pumamarca, con un área aproximada de 1786 m², esta muestra presenta características geotécnicas representativas del terreno de toda la comunidad de Pumamarca, esto según prospección geológica.

La muestra es un subconjunto de la población total que se selecciona para estudiar y hacer inferencias sobre el resto. (López & Pedro, 2022)

Muestreo

El muestreo se realizó en cuatro puntos estratégicos que comprende la población de estudio, seleccionados por presentar características físicas similares, correspondientes a suelos cohesivos de plasticidad media arenosa, clasificados como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Estos puntos fueron elegidos porque representan adecuadamente las condiciones del terreno del sector de Pumamarca y son aptos para la combinación con material granular reciclado (RCD), permitiendo evaluar su influencia en la capacidad de carga admisible del suelo.

El muestreo es una técnica estadística que se utiliza en un proyecto de investigación para analizar y obtener conclusiones sobre un tema a partir de un subgrupo de elementos. La idea es que las conclusiones obtenidas de la muestra sean válidas para toda la población, es decir, que se generalicen a todo el grupo de elementos. (López & Pedro, 2022).

Figura 6

Ubicación de calicatas



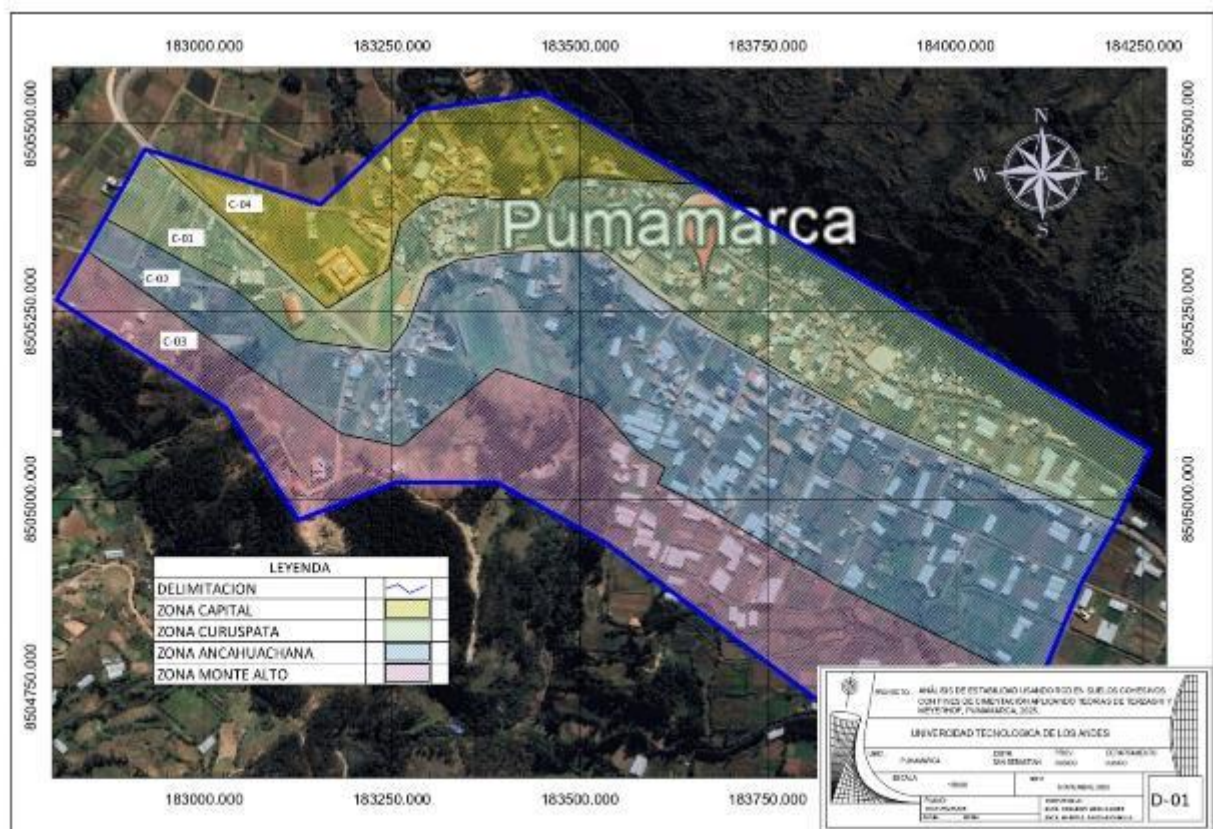
Tabla 3

Ubicación de las coordenadas UTM de las calicatas

Región	: Cusco		
Distrito	: San Sebastián		
Sector	: Pumamarca		
Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
Altitud	Altitud	Altitud	Altitud
3529.00m.s.n.m	3528.00m.s.n.m	3526.00m.s.n.m	3533.00m.s.n.m
Coordenadas UTM	Coordenadas UTM	Coordenadas UTM	Coordenadas UTM
N: 8505295.05	N: 8505276.33	N: 8505250.30	N: 8505364.24
E: 182904.73	E: 182905.34	E: 182917.80	E: 182927.94

Figura 7

Zonificación de áreas de estudio.



Nota: Los puntos seleccionados para la ejecución de las cuatro calicatas se determinaron en función de la estratigrafía del suelo y de la sectorización de la comunidad de Pumamarca, la cual se divide en cuatro zonas específicas. En

consecuencia, se procedió a la excavación de una calicata por cada zona, ubicándolas en puntos estratégicos con el fin de obtener muestras representativas que permitan caracterizar adecuadamente las condiciones geotécnicas del área de estudio.

Tabla 4

Códigos de ensayo

CODIGO DE CALICATA		N° DE ENSAYOS			
		C1	C2	C3	C4
Caracterización del suelo	Contenido de humedad	3	3	3	3
	Limite liquido	4	4	4	4
	Limite plástico	3	3	3	3
	Índice de plasticidad	1	1	1	1
	Peso Especifico	3	3	3	3
	Granulometría	1	1	1	1
Cono de Arena	Determinación de la densidad del suelo	3	3	3	3
Ensayo de penetración dinámica con DPL convencional	Determinación del ángulo de fricción interna m	1	1	1	1
	Determinación de la cohesión	1	1	1	1
	Determinación de la capacidad de carga.	1	1	1	1

4.4. Instrumentos

Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos está dado por fichas de laboratorio donde nos permite la recolección de datos de forma sistemática y ordenada de las pruebas o ensayos realizados.

En el presenta trabajo de investigación, los instrumentos metodológicos se encuentran en los anexos.

Instrumentos de ingeniería

➤ ***Vidrio esmerilado para límite plástico***

Esta herramienta se emplea para retirar el exceso de humedad del suelo durante la determinación del límite plástico. Se usa trabajando la muestra hasta formar pequeños cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro, repitiendo el proceso hasta que el suelo se agriete, señal clara de que ha alcanzado la condición requerida.

Figura 8

Instrumentos para límite plástico



➤ ***Probeta graduada***

La probeta es un instrumento básico de laboratorio que se utiliza para contener y medir volúmenes de líquidos. Viene graduada o con escala, lo que permite obtener mediciones más precisas y confiables durante los ensayos.

Figura 9

Probeta graduada para peso específico



➤ **Balanza electrónica**

Este instrumento nos permite conocer el peso de la muestra de suelo, tomando en cuenta en nivel de densidad que este pudiera tener en el proceso del cálculo (sensibilidad) de 0.1 g.

Figura 10

Balanza electrónica de precisión



➤ **Horno eléctrico**

El Horno eléctrico es un instrumento muy importante en el proceso de caracterización del suelo que tiene como objetivo principal quitar la humedad del material mediante la evaporación del agua expuesto a una temperatura constante de 105 °C. (Recomendable no superar esta temperatura para no alterar la composición de la muestra).

Figura 11

Horno eléctrico.



➤ **Cuchara Casagrande**

Este instrumento es uno de los instrumentos más importantes al momento de realizar la determinación de los límites de consistencia de un determinado suelo, sobre todo tomando en cuenta la granulometría y el contenido de humedad del mismo.

Figura 12

Cuchara de Casagrande para ensayo de límite líquido.



➤ **Tamices ASTM**

El ensayo de granulometría requiere el uso de una serie de tamices bajo estándares de la norma, mediante el cual se pone a tamizar la muestra de suelos para su posterior clasificación, la serie de tamices están enumerados de forma: $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", N°4, N°8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°80, N°200 y fondo, el tamiz N° 200 es el más pequeño.

Figura 13

Tamices para granulometría



➤ ***Agitador mecánico de tamices***

Si bien los equipos mecánicos como es el agitador no presentan certificados de calibración, estos nos permiten realizar de mejor manera del proceso de caracterización de los materiales a través del conocimiento de su granulometría.

Figura 14

Agitador eléctrico de tamices normalizados



➤ **Aparato del cono de arena**

El método del cono de arena determina la densidad del suelo en campo y la humedad, lo que permite calcular el grado de compactación de un suelo.

Figura 15

Aparato del cono de arena.



➤ **Equipo DPL (Dynamic Probing Light)**

El equipo DPL convencional (Dynamic Probing Light), es un instrumento normalizado que determina el número de golpes por cada 10cm de penetración de la varilla. Como se había mencionado anteriormente, si bien los resultados no presentan valores consistentes, a través de diferentes correlaciones, sobre todo con el SPT se pueden identificar valores más concluyentes.

Figura 16

Equipo para ensayo por auscultación



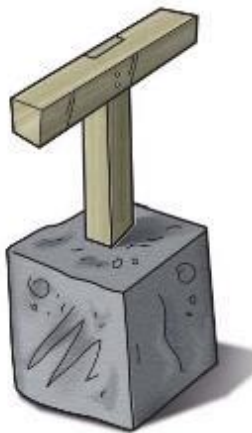
➤ **Compactador tipo plancha.**

Este equipo manual se utilizó en el proceso de compactación del RCD combinado con el suelo al momento de ser mejorado.

La composición está basada en un molde de concreto simple acompañado de un mago sujetador.

Figura 17

Pison de mano.



4.5. Procedimientos

Procedimiento para investigación y exploración de campo

El artículo 11 de la norma E.050 Suelos y Cimentaciones menciona que un programa de investigación de campo y laboratorio se define mediante:

- Reconocimiento del terreno.
- Determinación números de exploración.
- Ejecución de las exploraciones.
- Toma de muestras a extraer.
- Ensayos a realizar in situ y en laboratorio.
- Análisis e interpretación de resultados.

a) Instrumentos utilizados

- Pico
- Pala
- Escalera para acceso.

b) Procedimiento

Para realizar el muestreo del material se procedió a excavar las calicatas en el área de estudio, las dimensiones establecidas de excavación fueron de 0.80 m x 2.50 m. para la profundidad se tomó como referencia lo indicado en el artículo 12 de la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones y el alcance del DPL (2.00 m de penetración). Para muestras de suelo inalteradas fueron obtenidas a 2.20 m de profundidad, las que fueron talladas en bloques y embaladas para su transporte.

Figura 18

Recolección de muestras alteradas a cielo abierto.



Figura 19

Excavación de calicata con maquinaria .



Figura 20

Exploración de campo para el estudio de mecánica de suelos.



Figura 21

Perfil estratigráfico de los suelos en investigación.



Figura 22

Recolección de muestras para ensayo de granulometría.



Ensayo de determinación de la capacidad de carga o presión máxima usando DPL convencional (Dynamic Probing Linght)

a) Instrumentos utilizados

- Equipo DPL convencional
- Pizarra Acrílica
- Libreta de campo

b) Procedimiento

El DPL convencional es un instrumento basado en la norma NTP 339.159-2001. Este ensayo consiste en hincar una punta maciza mediante una maza de golpe normalizado que cae desde una altura

predeterminada. Es un ensayo útil para determinar la resistencia a la penetración dinámica de suelos cohesivos (capacidad de carga).

En principio se define la ubicación de la zona a ensayar, tomando en cuenta la estratigráfica homogénea del terreno que contengan partículas parcialmente finas con parámetros de un suelo cohesivo.

A continuación, se procede a realizar el ensayo, entre dos personas, la primera sostiene la varilla principal de forma horizontal, mientras que la segunda deja caer el maso contando el número de golpes por cada 10cm de penetración.

Figura 23

Realización del ensayo DPL insitu.



Ensayo para determinar el contenido de humedad

a) Instrumentos utilizados

- Horno de secado (110 °C).
- Balanza de precisión de 0.1
- Taras de metal
- Espátula

b) Procedimiento

Se determina el peso de la tara, se toma una muestra del suelo natural en la tara y se pesa en la balanza, se procede a etiquetar los recipientes que contiene las muestras para su fácil identificación, se lleva al horno para el secado durante 12 horas como mínimo.

Luego se procede a retirar las muestras del suelo, se deja enfriar las muestras durante un tiempo, se pesa las muestras secas para posteriormente calcular el contenido de humedad.

Figura 24

Proceso para determinar el contenido de humedad.



Ensayo para determinar límite líquido

a) Instrumentos utilizados

- Cuchara de Casagrande
- Espátula pequeña
- Acanalador
- Mortero
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura de 110 °C
- Balanza de precisión 0.1g

b) Procedimiento

Se extrae una muestra representativa del suelo y se incorpora en el mortero, se incluye agua y se mezcla con la espátula para obtener una masa homogénea, luego se coloca una porción en la cuchara Casagrande, preparando una superficie de 1 cm aproximadamente, se usa el acanalador para separar la muestra de suelo en dos mitades iguales, después se gira la manivela hasta que la porción de suelo del acanalador se cierre en $\frac{1}{2}$ " de longitud de medio de la cuchara del equipo y se anota el número de golpes, esto se repite de 40 a 30 golpes, 25 a 30 golpes, 20 a 25 golpes y 20 a 15 golpes, una vez realizado las pruebas se extrae una muestra de suelo de la cuchara de Casagrande, para cada intervalo, las muestras son pesadas cuando están húmedas, luego, después de sacar del horno se vuelven a pesar y se calcula el % de contenido de humedad.

Para poder graficar la curva de fluidez se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica.

Ensayo para determinar límite plástico**a) Instrumentos utilizados**

- Taras de metal
- Varilla de 3mm
- Placa de vidrio esmerilado
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C
- Balanza de precisión 0.1 g

b) Procedimiento

El mismo material del límite líquido, se amasa sobre el vidrio esmerilado para que pierda humedad, se va enrollando hasta alcanzar un diámetro de 3.2 mm (1/8”), la prueba continua hasta que el rodillo amasado empiece a rajarse y pueda quebrarse. A continuación, se pesa el rodillo húmedo y se lleva al horno con el fin de eliminar la humedad para finalmente calcular el límite plástico.

Figura 25

Proceso para determinar el límite plástico.



Ensayo de peso volumétrico del suelo

a) Equipo utilizado

- Espátula pequeña
- Cocina eléctrica
- Balanza de precisión de 0.1 g
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C

b) Procedimiento

Se inicia con el derretimiento de la parafina en una cocina eléctrica, se talla la muestra de suelo con un tamaño específico que pueda introducirse dentro de la probeta de 250 ml, se pesa la muestra de suelo y se sumerge dentro de la parafina, después se deja enfriar la muestra y se registra el peso, se llena la probeta hasta un volumen específico, se introduce la muestra de suelo en la probeta, la cual producirá aumento de volumen, esta variación se anota para calcular el peso volumétrico.

Ensayo de granulometría**a. Instrumentos utilizados**

- Agitador mecánico
- Balanza electrónica
- Horno de secado que pueda mantener la temperatura a 110 °C
- Tamices 1 ½", ½", 3/8", N° 4, N° 8, N°, 16, N°, 30, N°40, N° 50, N° 80 y N° 200

b. Procedimiento

Con la muestra de suelo cohesivo se procede a pesar en la balanza, luego se procede a lavar la muestra para después pasar por el tamiz N° 200.

Figura 26

Cantidad retenida por cada tamiz.



Ensayo de cono de arena

a. Instrumentos utilizados

- Arena de Ottawa
- Válvula
- Cono de metal
- Placa de metal
- Jarra de plástico

b. Procedimiento

El ensayo del cono de arena se realiza colocando la base del aparato del cono de arena sobre una superficie nivelada. Posterior se procede a excavar un orificio en el suelo a través de la abertura de la base. Todo el suelo excavado se recolecta en un contenedor para su posterior pesaje. Luego procedemos a pesar el suelo húmedo excavado. Determinar

el contenido de humedad de esta muestra utilizando métodos estándar (como el de horno o el de gas de carburo de calcio). Determinación del volumen del orificio: Llenar el orificio con la arena del cono. La diferencia entre el peso inicial y final de la arena en el cono nos permite calcular el volumen del orificio (V) mediante la fórmula: $V=(M1-M2) / \rho1$, donde $M1$ es el peso inicial de la arena, $M2$ es el peso final y $\rho1$ es la densidad de la arena calibrada en campo. Cálculo de densidad: A partir del peso del suelo húmedo, el volumen del orificio y el contenido de humedad, se calculan la densidad húmeda y, posteriormente, la densidad seca del suelo.

Figura 27

Proceso del ensayo cono de arena.



4.6. Análisis de datos

Programa de investigación y exploración de campo

Se realizó la excavación mecánica de calicatas en las zonas establecidas en la presente investigación, las dimensiones corresponden a un ancho de 0.80 m, largo de 2.50 m y una profundidad de 2.00 m para el DPL convencional.

Procesamiento de datos (cálculo).

El procesamiento de datos en la investigación es el proceso de recopilación de datos y su transformación en información utilizable para múltiples partes interesadas. Aunque los datos pueden verse de muchas maneras y a través de varios objetivos, el procesamiento de datos ayuda a probar o refutar teorías, a tomar decisiones o incluso a avanzar en la mejora del planteamiento. (questionpro logo, 2023)

Los ensayos realizados para el procesamiento de cálculo son:

- Ensayo de penetración dinámica ligera DPL – Norma DIN4094 Y NTP 339.159:2001.
- Ensayo e Penetración dinámica ligera artesanal – PDLA.
- Correlación Ndpl con el Npdla y estimación del ángulo de fricción interna.
- Ensayos para la determinación de capacidad de carga del suelo.
- Procesos de obtención de muestras.
- Determinación del contenido de humedad.
- Determinación de la granulometría.
- Determinación de la densidad natural del suelo.
- Ensayo del cono de arena – ASTM D-1556.

El procesamiento de cálculo para la obtención de resultados de la presente investigación se encuentra en los anexos adjuntos.

4.7. Consideraciones éticas

En el desarrollo de esta investigación, se han considerado principios éticos fundamentales que garantizan la integridad académica, el respeto por el entorno y el cumplimiento de normas sociales, ambientales y científicas.

Respeto al medio ambiente. El uso de residuos de construcción y demolición (RCD) promueve prácticas sostenibles al reducir el impacto ambiental, minimizar la explotación de recursos naturales y fomentar la reutilización responsable de materiales, en concordancia con los principios de economía circular.

Uso responsable de información y fuentes. Toda la información científica, técnica y bibliográfica utilizada en el estudio ha sido debidamente citada, respetando los derechos de autor y evitando el plagio, conforme a las normas académicas vigentes.

Veracidad y transparencia en los resultados. Los datos obtenidos en campo y laboratorio serán presentados de forma objetiva y sin alteraciones, asegurando la transparencia de los métodos empleados y la reproducibilidad de los resultados.

Compromiso con la comunidad local. La intervención en la localidad de Pumamarca se realiza respetando los valores, recursos y necesidades del entorno, sin causar afectaciones al patrimonio natural ni social. Si se realiza trabajo de campo, se informará a las autoridades locales y, si corresponde, se pedirá consentimiento.

Seguridad y prevención de riesgos. Toda manipulación de materiales, equipos o suelos se realizará cumpliendo con medidas de seguridad para proteger la salud de los participantes y del entorno.

Responsabilidad académica y profesional. La investigación se desarrolla bajo principios de responsabilidad, rigurosidad y ética profesional, reconociendo los límites de la investigación y evitando afirmaciones infundadas.

Procedimiento Selección, análisis y caracterización del RCD - RI

Para iniciar con el uso del RCD - RI, en principio se realizó una prospección del mismo en la zona en estudio, en la comunidad de Pumamarca sector Curuspata, propiedad del señor Guillermo Meza Huaranca. El proceso de demolición fue realizado con un rotomartillo, la estructura a demoler fue específicamente de una vereda de concreto simple, presumiblemente de un diseño de resistencia de $f_c=175$ kgr/cm². Las dimensiones de la infraestructura fueron de 11.00 m de largo por 1.00 m de ancho. Así mismo, el material seleccionado fue clasificado como RI, por ser producto de recursos inertes, de igual manera de clase A, específicamente de concreto tal y como lo define el decreto supremo N° 002-2022 del ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento.

Figura 28

Toma de muestra del RCD - RI.



Figura 29

Recolección y medición de muestra de RCD - RI.



Considerando que la presente investigación refiere al “Análisis de estabilidad usando RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando teorías de Terzaghi Y Meyerhof”, en el análisis procedimental se toma las siguientes consideraciones respecto al RCD.

- Los residuos de construcción y demolición deben de ser de carácter inerte (RCD-RI), es decir: al momento de seleccionarlos estos deben contener partículas inorgánicas que no presentes descomposición.
- Los RCD-R identificados para el mejoramiento de suelos en la presente investigación deben de ser seleccionados tomando en consideración su granulometría, ya que el tamaño máximo nominal no podrá exceder de $\frac{3}{4}$ ”, en el caso que esto sucediera, adicionalmente a la selección se tendrá que pasar por un chancado mecánico y un tamizado por la Malla $\frac{3}{4}$ ” de Acuerdo a la Norma NTP.

Figura 30

Proceso del Chancado del RCD – RI.



- El RCD – RI tendrá que tener un porcentaje de Humedad de entre el 5% y el 10% para evitar acolchonamientos. En saco exceda el %W, se recomienda batir y exponer al aire libre hasta lograr el contenido Optimo.
- El módulo de fineza del RCD – RI, deberá estar dentro del rango de 05 a 10, tomando en consideración la norma ASTM C-117, tal y como se establece en la caracterización de la presente investigación.

Figura 31

Selección de las partículas del RCD - RI a través de ensayo de granulometría.



- Luego de la identificación, chancado y selección del agregado corresponde realizar el mezclado según dosificación mencionado en el capítulo de resultados de la presente investigación.

Dosificación de RDC – RI.

Para el desarrollo de la presente investigación se han seleccionado los porcentajes de incorporación de RCD-RI del 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %, considerando que este rango constituye una secuencia representativa para evaluar el efecto del material reciclado en el comportamiento de un suelo arcilloso. La elección de estas dosificaciones se sustenta en diversos antecedentes experimentales que evidencian que mezclas dentro de estos intervalos generan mejoras significativas en parámetros como la densidad seca, la resistencia al corte,

la capacidad portante y la reducción de la plasticidad. Estos estudios previos han demostrado que la adición progresiva de RCD contribuye a modificar la estructura interna del suelo, favoreciendo un mayor interbloqueo granular y una mejor respuesta frente a cargas aplicadas. En consecuencia, las proporciones seleccionadas permiten explorar de forma adecuada la tendencia de mejoramiento y determinar la dosificación óptima para las condiciones geotécnicas del suelo analizado.

V. Resultados y discusión

Resultados

➤ Resumen de resultados de la caracterización del suelo.

Resultados de la exploración de campo

Figura 32

Perfil Estr. de la cal. 01.

PERFIL ESTR. DEL SUELO				CALICATA C-1		
TIPO DE PERFORACIÓN		: Exc.mecánica	MEDIDA DE CALICATA		: Ancho: 0.80 m : Largo: 2.50 m	
NIVEL DE REFERENCIA		N.T	N.F.		: No se encontro	
PROF. DE CALICATA		: 2.20 m				
PROF. MUESTRA	SIMBOLO	VISTA	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCIÓN		
0.1			OL	CAPA VEGETAL color marron compuesta por limo organico de baja plasticidad con presencia de traices y vegetación (OL).		
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						
1.6						
1.7						
1.8						
1.9						
2.0						
2.1						
2.2						
Primer estrato: 0.00 m - 0.20 m		CAPA VEGETAL color marrón compuesta por limo orgánico de baja plasticidad con presencia de raices y vegetacion (OL).				
Segundo estrato: 0.00 m - 0.20 m		Arcilla de baja plasticidad media arenosa de color marrón (CL).				
No se evivencia nivel freatico.						

Figura 33

Perfil E. de la cal. 02.




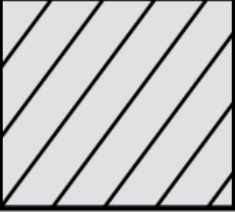
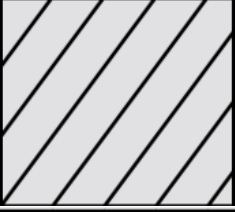
P. ESTRATIGRAFICO DEL SUELO			CALICATA N° 2		
TIPO DE PERF. : Excavación Mec.		MEDIDA DE CALICATA : Ancho: 0.80 m : Largo: 2.50 m			
NIVEL DE REFERENCIA : NIVEL DE T.		N F : No se encontro			
PROF. DE CALICATA : 2.20 m					
PROF. MUESTRA	SIMBOLO	VISTA	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCIÓN	
0.10			OL	CAPA VEGETAL color marron compuesta por limo organico de baja plasticidad con presencia de traices y vegetación (OL).	
0.20					
0.30				CL	Arcilla de baja plasticidad (CL), media arenosa de color marron claro ; en la superficie presenta consistencia poco dura..
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
Primer estrato: 0.00 m - 0.20 m		CAPA VEGETAL color marrón compuesta por limo orgánico de baja plasticidad con presencia de raices y vegetacion (OL).			
Segundo estrato: 0.00 m - 0.20 m		Arcilla de baja plasticidad media arenosa de color marrón (CL).			
No se evivencia nivel freatico.					



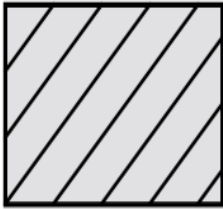
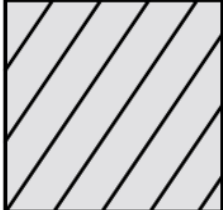
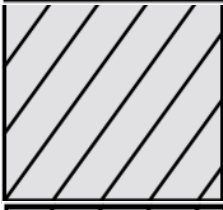
Figura 34

P. E. de la calicata a cielo abierto 03.

P. ESTR. DEL SUELO			CALICATA C-3		
T. DE PERFORACIÓN		: Exc. Mec.	MEDIDA DE CALICATA : Ancho: 0.80 m : Largo: 2.50 m		
NIVEL DE REFERENCIA		: N. Terreno	N. FREATICO : No se encontro		
PROF. DE CALICATA		: 2.20 m			
PROF. MUESTRA	SIMBOLO	VISTA	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCIÓN	
0.100			OL	CAPA VEGETAL color marron compuesta por limo organico de baja plasticidad con presencia de raices y vegetación (OL).	
0.200					
0.300				CL	Arcilla de baja plasticidad (CL), media arenosa de color marron claro ; en la superficie presenta consistencia poco dura..
0.400					
0.500					
0.600					
0.700					
0.800					
0.900					
1.000					
1.100					
1.200					
1.300					
1.400					
1.500					
1.600					
1.700					
1.800					
1.900					
2.000					
2.100					
2.200					
Primer estrato: 0.00 m - 0.20 m		CAPA VEGETAL color marrón compuesta por limo orgánico de baja plasticidad con presencia de raices y vegetacion (OL).			
Segundo estrato: 0.00 m - 0.20 m		Arcilla de baja plasticidad media arenosa de color marrón (CL).			
No se evidencia nivel freatico.					

Figura 35

Perfil de la estratigrafía de la cal. 04.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SUELO				CALICATA N° 4		
TIPO DE PERFORACIÓN		: Excavación mec.	MEDIDA DE CALICATA		: Ancho: 0.80 m : Largo: 2.50 m	
NIVEL DE REFERENCIA		: NIVEL DE TERRENO	NIVEL F.		: No se encontro	
PROF. DE CALICATA		: 2.20 m				
PROF. MUESTRA	SIMBOLO	VISTA	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCIÓN		
0.10			OL	CAPA VEGETAL color marron compuesta por limo organico de baja plasticidad con presencia de traices y vegetación (OL).		
0.20						
0.30				CL	Arcilla de baja plasticidad (CL), media arenosa de color marron claro ; en la superficie presenta consistencia poco dura..	
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						
2.10						
2.20						
Primer estrato: 0.00 m - 0.20 m		CAPA VEGETAL color marrón compuesta por limo orgánico de baja plasticidad con presencia de raices y vegetacion (OL).				
Segundo estrato: 0.00 m - 0.20 m		Arcilla de baja plasticidad media arenosa de color marrón (CL).				
No se eviencia nivel freatico.						

Aplicación práctica:

El perfil estratigráfico obtenido en las calicatas ejecutadas en Pumamarca evidencia una secuencia superficial compuesta por una capa vegetal de aproximadamente 20 cm de espesor, seguida de estratos cohesivos correspondientes a un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), con variaciones locales donde se reconocen zonas más húmedas y ligeramente orgánicas, particularmente en el sector correspondiente a la calicata C4. Este conocimiento estratigráfico permite definir de manera práctica la profundidad mínima de desplante de las cimentaciones, recomendándose fundar a partir de 1.50 a 2.00 m para evitar la capa vegetal y los materiales de menor competencia. Asimismo, el perfil permite identificar los sectores con mayor humedad natural y, por tanto, con menor capacidad portante, en los cuales se prevé la necesidad de estabilización mediante RCD o, alternativamente, el aumento del área de cimentación para disipar cargas adecuadamente. El perfil también confirma que no se ha interceptado el nivel freático dentro de la profundidad estudiada, lo que favorece el empleo de cimentaciones superficiales sin requerimientos especiales de drenaje profundo.

➤ Resultados de la caracterización del suelo

a) Resultados del contenido de humedad: Si bien la mayoría de los puntos de estudio a través de las calicatas presentan resultados similares, la zona 04 representado por la calicata C4 presenta una humedad superior a los demás, esto debido a que esta zona presenta ciertas depresiones que generar acumulación de agua.

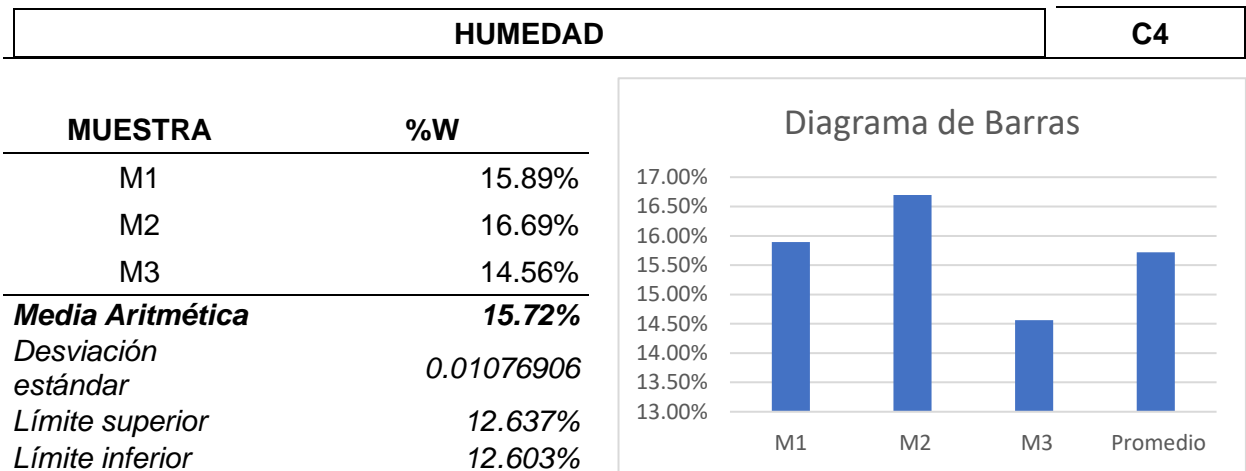
Tabla 5

Resultados del cont. humedad.

HUM. DEL SUELO		C1										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>16.26%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>10.84%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>10.17%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>12.42%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	16.26%	M2	10.84%	M3	10.17%	Promedio	12.42%
Muestra	%W											
M1	16.26%											
M2	10.84%											
M3	10.17%											
Promedio	12.42%											
M1	16.26%											
M2	10.84%											
M3	10.17%											
Media Aritmética	12.42%											
<i>Desviación estándar</i>	0.03339176											
<i>Lím. Sup.</i>	11.700%											
<i>L. inferior</i>	11.660%											

CONT. DE HUM.		C2										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>11.12%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>13.83%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>10.21%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>11.72%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	11.12%	M2	13.83%	M3	10.21%	Promedio	11.72%
Muestra	%W											
M1	11.12%											
M2	13.83%											
M3	10.21%											
Promedio	11.72%											
M1	11.12%											
M2	13.83%											
M3	10.21%											
Media Aritmética	11.72%											
<i>Des. estándar</i>	0.01885474											
<i>L. S.</i>	11.995%											
<i>L. I.</i>	11.985%											

C. H. DEL SUELO		C3										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>11.60%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>11.14%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>8.97%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>10.57%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	11.60%	M2	11.14%	M3	8.97%	Promedio	10.57%
Muestra	%W											
M1	11.60%											
M2	11.14%											
M3	8.97%											
Promedio	10.57%											
M1	11.60%											
M2	11.14%											
M3	8.97%											
Media Aritmética	10.57%											
<i>D. Es.</i>	0.01406923											
<i>Límite super.</i>	10.854%											
<i>Límite infer.</i>	10.826%											



Aplicación práctica:

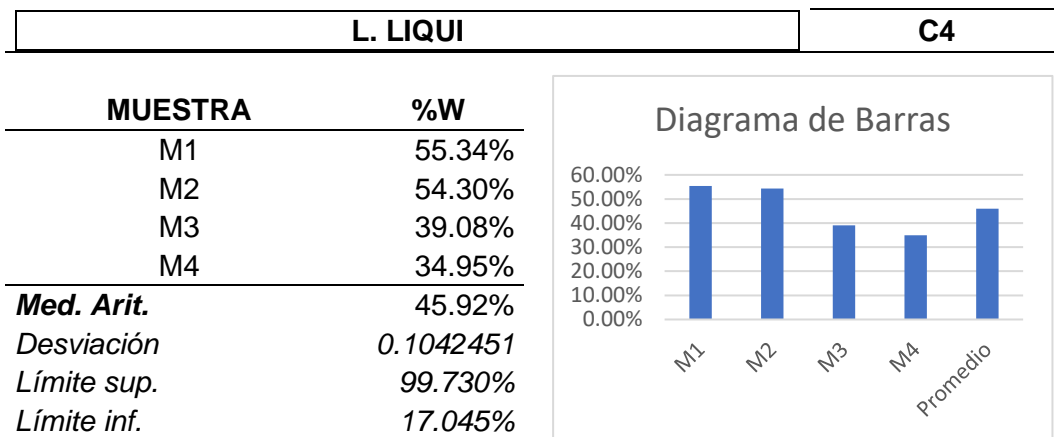
Los contenidos de humedad natural registrados presentan valores comprendidos entre 10 % y 16 %, mostrando la calicata C4 los mayores niveles debido a su ubicación en una depresión topográfica que tiende al encharcamiento. En la aplicación práctica, estos valores permiten evaluar la condición inicial del suelo frente a procesos de compactación, ya que un suelo con humedad elevada puede comportarse como material blando y generar asentamientos diferenciales si no es acondicionado adecuadamente. En sectores donde la humedad supera la humedad óptima de compactación se recomienda un periodo de secado o mezcla con materiales más secos a fin de garantizar una plataforma uniforme antes del vaciado de las zapatas.

b) Resultados del límite líquido: Basado en los resultados expuestos y tomando en consideración los altos índices de límite líquido, podemos concluir que es suelo presenta una característica cohesiva.

Tabla 6

Resultados de la determinación del L.L.

LÍM. LIQUIDO		C1
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p>
M1	51.83%	
M2	53.98%	
M3	41.91%	
M4	49.37%	
M. Aritmética	49.27%	
D. E.	0.0526	
L. sup.	83.580%	
Lím. inf.	30.703%	
L. LIQUIDO		C2
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p>
M1	50.43%	
M2	55.51%	
M3	41.88%	
M4	49.69%	
Med. A.	49.38%	
Desv. est..	0.056	
Lm sup.	144.950%	
Lm inf.	-14.413%	
LÍM. LIQ.		C3
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p>
M1	54.43%	
M2	52.78%	
M3	39.11%	
M4	37.78%	
Media At.	46.02%	
Desv. Est.	0.088	
Lím. Sup.	90.910%	
Lím. Inf.	27.787%	



Aplicación práctica:

Los límites líquidos del suelo, comprendidos entre 45 % y 50 %, confirman que se trata de arcillas de baja plasticidad, lo cual influye directamente en su comportamiento deformacional y en la determinación de la capacidad de carga. En términos prácticos, estos valores permiten clasificar el suelo como CL y justificar la necesidad de considerar coeficientes de seguridad adecuados frente a posibles variaciones volumétricas inducidas por humedad. El límite líquido también condiciona la rigidez del estrato de apoyo, orientando el diseño hacia cimentaciones que compensen la susceptibilidad del suelo a asentamientos moderados.

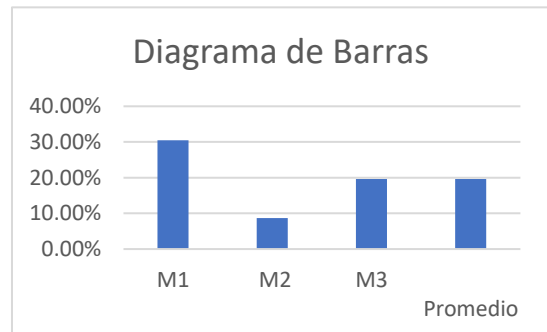
- c) **Resultados del límite plástico:** De los resultados podemos observar que la calicata N° 4 (C4) presenta una menor plasticidad, esto es de esperarse debido a la presencia parcial de material granular.

Tabla 7

Resultados de la determinación del límite plástico.

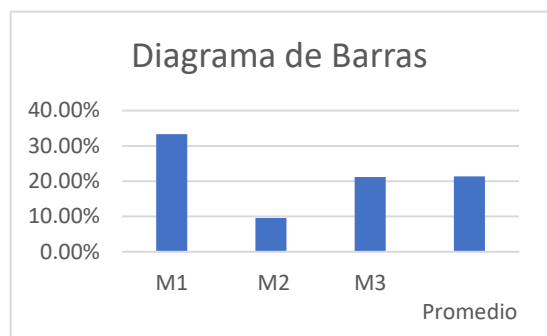
LÍMITE PLAST.	C1
---------------	----

MUESTRA	%W
M1	30.43%
M2	8.70%
M3	19.66%
Med. Arit.	19.60%
Desv. est.	0.10869609
Lím. sup.	63.090%
Límite inf.	10.710%



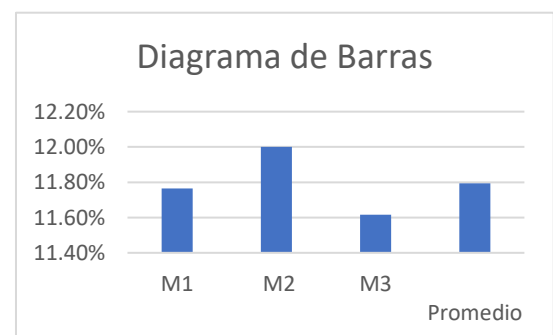
L. PLASTICO	C2
-------------	----

MUESTRA	%W
M1	33.33%
M2	9.52%
M3	21.20%
M. A.	21.35%
Desv. est.	0.11905015
Lím. sup.	46.590%
Límite I.	26.890%



LÍM. PLAST.	C3
-------------	----

MUESTRA	%W
M1	11.76%
M2	12.00%
M3	11.62%
Media Art.	11.79%
Desviación est.	0.00147345
Límite superior	42.127%
Límite inferior	33.555%



LÍMITE PLAST.		C4
MUESTRA	%W	
M1	11.76%	
M2	10.53%	
M3	11.25%	
Med. Arit.	11.18%	
<i>Desv. Est.</i>	<i>0.006201224</i>	
<i>Lím. Sup.</i>	<i>44.730%</i>	
<i>Límit. Inf.</i>	<i>34.210%</i>	

Diagrama de Barras

Muestra	%W
M1	11.76%
M2	10.53%
M3	11.25%
Promedio	11.18%

Tomando en cuenta los resultados del límite líquido y del límite plástico, se obtienen los índices de plasticidad, los cuales nos permiten entender mejor cómo se comporta el suelo en la práctica, tal como responde en el terreno, en buen peruano:

	<i>IP – C1</i>	<i>IP – C2</i>	<i>IP – C3</i>	<i>IP – C4</i>
	%	%	%	%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	29.68%	28.03%	34.23%	34.74%

Aplicación práctica:

Los límites plásticos y el índice de plasticidad obtenido, comprendido entre 28 % y 35 %, refuerzan la clasificación del material como arcilla de baja plasticidad. En la práctica, estos parámetros permiten anticipar comportamientos de contracción–expansión y la sensibilidad del suelo frente a cambios de humedad. Sectores con índices de plasticidad más elevados pueden experimentar mayores deformaciones, por lo que se recomienda optar por zapatas corridas o aumentos de área que disminuyan la presión de contacto. Asimismo, esta información es útil para determinar la proporción óptima de estabilización con RCD en etapas posteriores.

d) Resultados del ensayo de peso específico del suelo con humedad natural: Tomando en cuenta que el peso específico del suelo es la relación entre el peso del mismo y el volumen, se puede concluir que los suelos materia de investigación presentan una densidad media – baja, como es el caso de la calicata N° 2.

Cabe mencionar también que el análisis de la densidad del suelo ayuda a determinar características geomecánicas del mismo, ya que, a mayor densidad, mayor capacidad de resistencia al corte y a los asentamientos, claro está, tomando en cuenta el contenido de humedad del mismo.

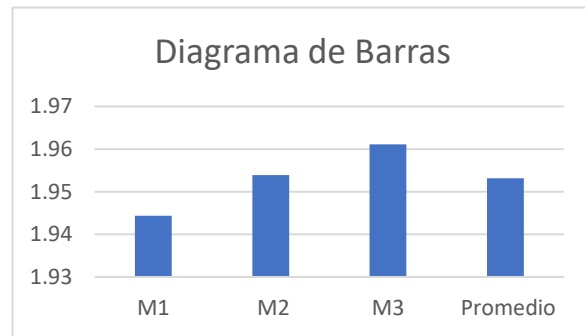
Tabla 8

Resultados del peso específico de los suelos.

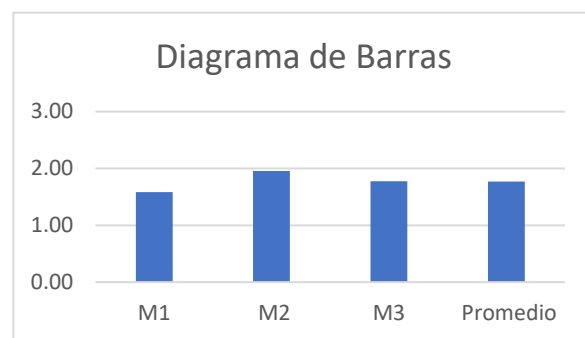
PESO ESP.		C1	
MUESTRA	P. E		
M1	1.78		
M2	1.81		
M3	1.78		
Media Arít.	1.79		
<i>Desv. Est.</i>	<i>0.01313</i>		
<i>Lím. Sup.</i>	<i>1.8957</i>		
<i>Límite inferior</i>	<i>1.7243</i>		
P. ESPEC.			C2
MUESTRA	P. E		
M1	1.98		
M2	2.12		
M3	2.06		
Med. Arít.	2.05		
<i>Desv. Est.</i>	<i>0.0705</i>		
<i>Lím. Sup.</i>	<i>2.0416</i>		
<i>Límit. Inf.</i>	<i>1.8184</i>		

PESO ESPEC.**C3**

MUESTRA	P. E
M1	1.94
M2	1.95
M3	1.96
Media Aritmética	1.95
<i>Desv. est.</i>	<i>0.00620464</i>
<i>Límite sup.</i>	<i>2.0947</i>
<i>Límite inf.</i>	<i>1.8853</i>

**P. ESPECÍFICO****C4**

MUESTRA	P. E
M1	1.58
M2	1.95
M3	1.77
Media Aritmética	1.77
<i>Desviación est.</i>	<i>0.18548275</i>
<i>Lím. superior</i>	<i>2.0230</i>
<i>Lím. inferior</i>	<i>1.4770</i>

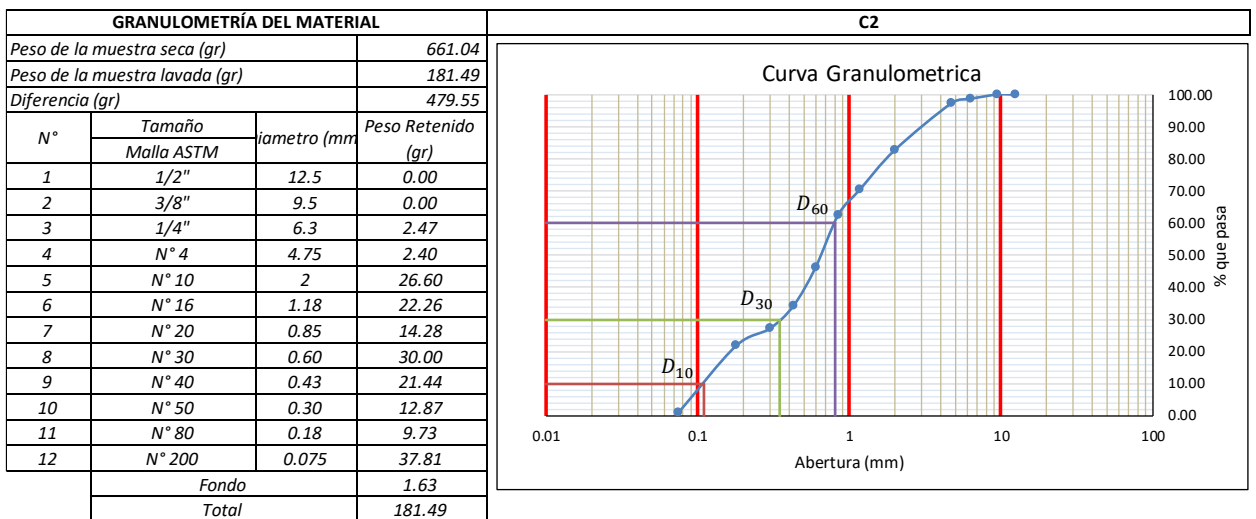
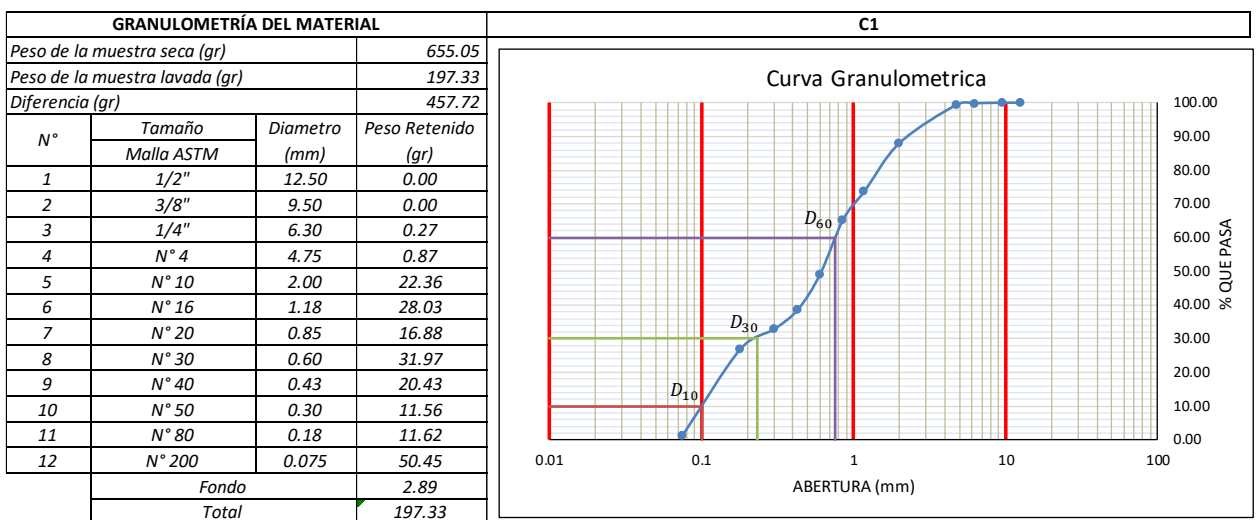
**Aplicación práctica:**

El peso específico natural del suelo, con valores aproximados entre 1.77 y 2.05 g/cm³, permite evaluar el grado de compactación y la densidad del estrato de apoyo. Este parámetro es fundamental para el cálculo de las tensiones verticales iniciales y para la aplicación de las fórmulas de Terzaghi y Meyerhof en la determinación de la capacidad de carga. En la práctica, los sectores donde el peso específico es menor reflejan una condición menos densa y, por ende, pueden requerir mayor energía de compactación o incluso reemplazos parciales antes de la ejecución de las cimentaciones.

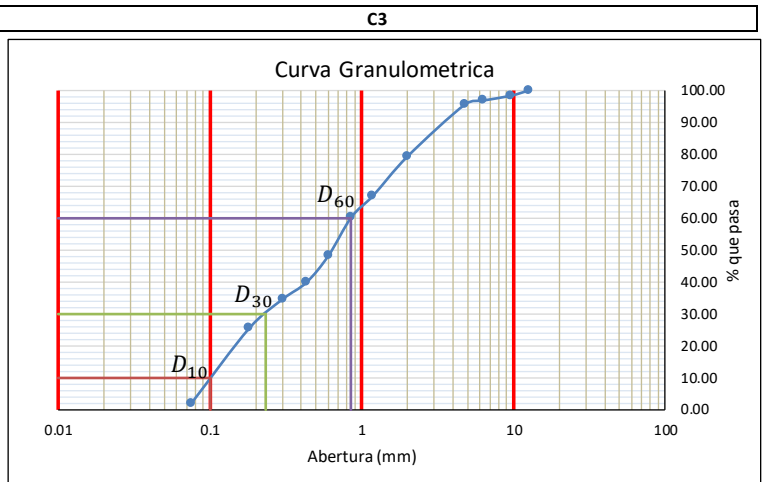
e) Resultados del ensayo de granulometría de los suelos: El suelo materia de análisis presenta una granulometría parcialmente fina, de color marrón claro con un contenido de humedad variable, lo cual de acuerdo a la clasificación SUCS nos clasifica como suelo de baja plasticidad media arenosa (CL).

Tabla 9

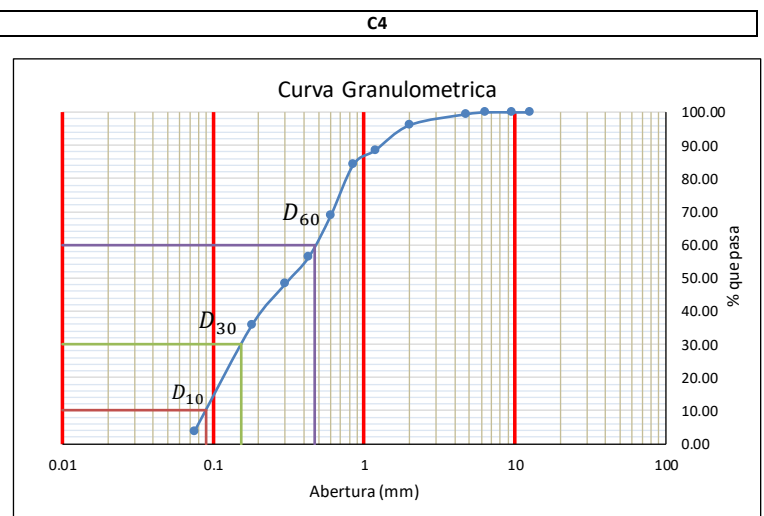
Resultados del análisis de la granulometria de los suelos.



GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL			
Peso de la muestra seca (gr)			1039.02
Peso de la muestra lavada (gr)			224.86
Diferencia (gr)			814.16
N°	Tamaño Malla ASTM	Diámetro (mm)	Peso Retenido (gr)
1	1/2"	12.5	0.00
2	3/8"	9.5	3.73
3	1/4"	6.3	3.30
4	N° 4	4.75	2.87
5	N° 10	2	36.37
6	N° 16	1.18	27.93
7	N° 20	0.85	15.08
8	N° 30	0.60	27.19
9	N° 40	0.43	18.80
10	N° 50	0.30	11.78
11	N° 80	0.18	20.72
12	N° 200	0.075	52.77
Fondo			4.32
Total			224.86



GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL			
Peso de la muestra seca (gr)			828.01
Peso de la muestra lavada (gr)			160.19
Diferencia (gr)			667.82
N°	Tamaño Malla ASTM	Diámetro (mm)	Peso Retenido (gr)
1	1/2"	12.5	0.00
1	1/2"	12.5	0.00
2	3/8"	9.5	0.00
3	1/4"	6.3	0.00
4	N° 4	4.75	0.89
5	N° 10	2	5.30
6	N° 16	1.18	12.19
7	N° 20	0.85	6.84
8	N° 30	0.60	24.73
9	N° 40	0.43	19.89
10	N° 50	0.30	13.10
11	N° 80	0.18	19.95
12	N° 200	0.075	51.19
Fondo			6.11
Total			160.19



Aplicación práctica:

El análisis granulométrico indica que el suelo presenta una fracción predominante de finos, con componentes arenosos que mejoran ligeramente su drenaje, aunque manteniendo un marcado carácter cohesivo. Este comportamiento granulométrico limita su uso como material granular estructural de alta calidad, pero resulta aceptable como subrasante estabilizada siempre que se controle su humedad. En la aplicación práctica, la granulometría sirve para definir la proporción y tipo de RCD necesario para mejorar la estructura interna del suelo y aumentar la fricción del mismo.

f) Resultados del ensayo de densidad de campo por el método del cono de arena. A continuación, se muestran los resultados del ensayo de densidad in situ mediante el método del cono de arena, con la finalidad de evaluar las condiciones de compactación del suelo natural y del suelo mejorado con RCD, comparando la densidad seca obtenida en campo con los valores óptimos determinados en laboratorio.

Tabla 10

Resultados de densidad de campo con RCD.

DENSIDAD DE CAMPO CALICATA N°01		
CALICATA 01 - NTP -1.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	17.74 kn/m3
Peso específico (Res. 1.79 g/cm3)	ydm_{max}	17.56 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	101.05 %
CALICATA 01 - NTP -0.50 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	17.68 kn/m3
Peso específico (Res. 1.79 g/cm3)	ydm_{max}	17.56 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	100.70 %
CALICATA 01 - NTP -0.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	17.55 kn/m3
Peso específico (Res. 1.79 g/cm3)	ydm_{max}	17.56 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	99.93 %
DENSIDAD DE CAMPO CALICATA N°02		
CALICATA 02 - NTP -1.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	20.36 kn/m3
Peso específico (Res. 2.05 g/cm3)	ydm_{max}	20.11 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	101.24 %
CALICATA 02 - NTP -0.50 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	20.01 kn/m3
Peso específico (Res. 2.05 g/cm3)	ydm_{max}	20.11 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	99.49 %
CALICATA 02 - NTP -0.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compactacion	Yd=	19.93 kn/m3
Peso específico (Res. 2.05 g/cm3)	ydm_{max}	20.11 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	<i>comp. =</i>	99.09 %

DENSIDAD DE CAMPO CALICATA N°03		
CALICATA 03 - NTP -1.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	19.45 kn/m3
Peso específico (Res. 1.95 g/cm3)	ydmax	19.13 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	101.69 %
CALICATA 03 - NTP -0.50 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	19.35 kn/m3
Peso específico (Res. 1.95 g/cm3)	ydmax	19.13 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	101.16 %
CALICATA 03 - NTP -0.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	19.44 kn/m3
Peso específico (Res. 1.95 g/cm3)	ydmax	19.13 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	101.64 %
DENSIDAD DE CAMPO CALICATA N°04		
CALICATA 04 - NTP -1.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	17.25 kn/m3
Peso específico (Res. 1.77 g/cm3)	ydmax	17.36 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	99.74 %
CALICATA 04 - NTP -0.50 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	17.67 kn/m3
Peso específico (Res. 1.77 g/cm3)	ydmax	17.36 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	101.81 %
CALICATA 04 - NTP -0.00 (CON RCD)		
Peso Especifico seco de compacacion	Yd=	17.63 kn/m3
Peso específico (Res. 1.77 g/cm3)	ydmax	17.36 kn/m3
<i>porcentaje de compactacion</i>	% comp. =	101.53 %

Aplicación práctica:

Los ensayos de densidad de campo mediante el método del cono de arena muestran porcentajes de compactación entre 99 % y 102 % respecto a la densidad máxima Proctor, lo cual indica que, en general, el terreno alcanza condiciones satisfactorias para su empleo como plataforma de cimentación. En la práctica, estos resultados permiten validar la compactación previa a la construcción, aunque en zonas donde la compactación se aproxima al límite inferior (99 %) es recomendable reforzar los controles y, de ser necesario, aplicar una pasada adicional de compactación para asegurar una uniformidad adecuada del estrato de apoyo.

Respecto al propósito de este ensayo de densidad de campo en suelo combinado con RCD, el objetivo fue llegar a una densidad similar a la del suelo natural con el fin de mantener las mismas condiciones para su comparación óptima.

g) Resultados del ángulo de fricción y cohesión: Los parámetros geotécnicos empleados en el análisis, correspondientes al ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c), fueron obtenidos mediante el software Dynamic Probing, a partir de la interpretación de los datos registrados en los ensayos de penetración dinámica (DP). Estos parámetros fueron determinados tanto para el suelo en condición natural como para el suelo mejorado con RCD, con el propósito de evaluar el incremento de la carga admisible del suelo producto de la incorporación del material reciclado.

Tabla 11

Resultados de la cohesión en suelo natural y con RCD.

CUADRO COMPARATIVO DE COHESIÓN (Kg/cm ²)			
	Dosificación	Suelo natural	Suelo natural con RCD
Calicata N°01	30%	0.79	0.87
Calicata N°02	25%	0.37	0.68
Calicata N°03	20%	0.29	0.55
Calicata N°04	15%	0.36	0.57

Tabla 12

Resultados del ángulo de fricción en suelo natural y con RCD.

CUADRO COMPARATIVO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN			
	Dosificación	Suelo natural	Suelo natural con RCD
Calicata N°01	30%	31.29°	31.60°
Calicata N°02	25%	29.67°	30.83°
Calicata N°03	20%	29.31°	30.27°
Calicata N°04	15%	29.63°	30.37°

Aplicación práctica:

Los valores de cohesión obtenidos mediante el procesamiento de los datos del ensayo DPL oscilan entre 0.29 y 0.79 kg/cm², mientras que el ángulo de fricción interna varía entre 29° y 31°. Estos parámetros se incorporan directamente en las ecuaciones de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, constituyendo la base para la estimación de la resistencia al corte del suelo. Su aplicación práctica consiste en determinar la zonificación del terreno, identificando sectores donde predomina la cohesión o la fricción, lo cual incide en la profundidad de cimentación, las dimensiones de zapatas y la necesidad de emplear mejoramientos con RCD en las zonas menos competentes.

h) Resultados del ensayo de determinación de capacidad de carga aplicando la teoría de Terzaghi: En esta etapa, lo que se ha procedido a realizar es la determinación de la capacidad de carga mediante el ensayo por auscultación, aplicando la teoría de Terzaghi en suelo natural y posteriormente al suelo estabilizado con RCD.

Los resultados obtenidos presentan un ligero aumento de la capacidad de carga en el suelo estabilizado con RCD -RI respecto al suelo natural.

Tabla 13

Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Terzaghi en suelo natural.

Profundidad	N° de golpes			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
0.10	3	1	1	2
0.20	3	2	2	3
0.30	3	2	2	4
0.40	3	2	2	4
0.50	3	3	3	3
0.60	4	3	3	3
0.70	4	2	2	3
0.80	9	3	3	4
0.90	38	2	2	4
1.00	40	3	3	5
1.10	35	5	5	15
1.20	22	3	3	11
1.30	25	6	6	11
1.40	22	19	10	11
1.50	22	26	26	11
1.60	25	29	29	12
1.70	26	27	27	16
1.80	28	35	35	38
1.90	27	28	28	38
2.00	28	30	30	40
Angulo de friccion	31.29	29.67	29.31	29.63
Cohesion	0.79	0.37	0.290	0.36
Qamd	2.09	1.05	0.86	1.03

Tabla 14

Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Terzaghi en suelo estabilizado con RCD - RI.

Profundidad	N° de golpes			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
0.10	4	2	2	4
0.20	4	2	3	3
0.30	4	2	2	4
0.40	4	5	5	5
0.50	5	4	5	6
0.60	9	5	7	8
0.70	13	7	8	7
0.80	12	11	7	7
0.90	27	12	7	8
1.00	28	12	8	9
1.10	29	7	9	11
1.20	23	9	9	12
1.30	25	27	9	15
1.40	23	28	12	15
1.50	24	30	28	16
1.60	25	31	25	19
1.70	27	31	28	20
1.80	33	36	36	39
1.90	26	30	31	41
2.00	35	39	34	43
Angulo de friccion	31.60	30.83	30.27	30.37
Cohesion	0.87	0.68	0.550	0.57
Disifificacion	30%	25%	20%	15%
Qamd	2.29	1.82	1.50	1.55

Aplicación práctica:

La aplicación de la teoría de Terzaghi, utilizando los parámetros de resistencia obtenidos, arroja capacidades de carga admisibles que oscilan entre aproximadamente 0.86 y 2.09 kg/cm² en suelo natural. Estos valores permiten definir el área mínima requerida de las zapatas, asegurando que las presiones transmitidas no excedan la resistencia del suelo. En la aplicación práctica, se selecciona el valor más conservador para el diseño, especialmente en sectores con mayor humedad o plasticidad, justificando en dichos casos la necesidad de estabilización o aumento del ancho de cimentación.

i) Resultados del ensayo de determinación de capacidad de carga aplicando la teoría de Meyerhof: En este caso, el método usado para la determinación de capacidad de carga del suelo fue la de Terzaghi, claro está, considerando la estimación del ángulo de fricción con el ensayo por auscultación.

Igual que en el método anterior, se puede evidenciar el aumento de la capacidad de carga admisible del suelo al momento de ser estabilizado con RCD -RI.

Tabla 15

Resultados obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Meyerhof en suelo natural.

DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE APLICANDO TEORÍA DE MEYERHOF PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN TERRENO NATURAL			
Muestra	Cohesión Kg/cm ²	Ángulo de fricción	Carga admisible Kg/cm ²
Cal. 1	0.79	31.29°	2.20
Calic. 2	0.37	29.67°	1.10
Calicat. 3	0.29	29.31°	0.90
Cal. 4	0.36	29.63°	1.08

Tabla 16

Result. obtenidos del ensayo aplicando la teoría de Meyerhof en suelo estabilizado con RCD – RI característico.

DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE APLICANDO TEORÍA DE MEYERHOF PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN TERRENO NATURAL CON RCD TAM MAX. ^{3/4} "				
Muestra	Dosificación	Cohesión Kg/cm ²	Ángulo de fricción	Carga admisible Kg/cm ²
Calic. 1	30%	0.87	31.6°	2.41
Calicat. 2	25%	0.68	30.83°	1.91
Cal. 3	20%	0.55	30.27°	1.57
Calic. 4	15%	0.57	30.37°	1.62

Aplicación práctica:

La teoría de Meyerhof proporciona valores de capacidad de carga de magnitud similar a los de Terzaghi, con resultados entre 0.90 y 2.20 kg/cm². La comparación de ambos métodos permite asegurar la confiabilidad del diseño, adoptando generalmente el valor menor como criterio de seguridad. En la práctica, esta doble verificación confirma que las variaciones en los parámetros ϕ y c afectan de manera consistente la capacidad portante, demostrando que cualquier mejora por estabilización se reflejará proporcionalmente en un aumento de la capacidad de carga final.

➤ **Resumen de los resultados de la determinación de carga.**

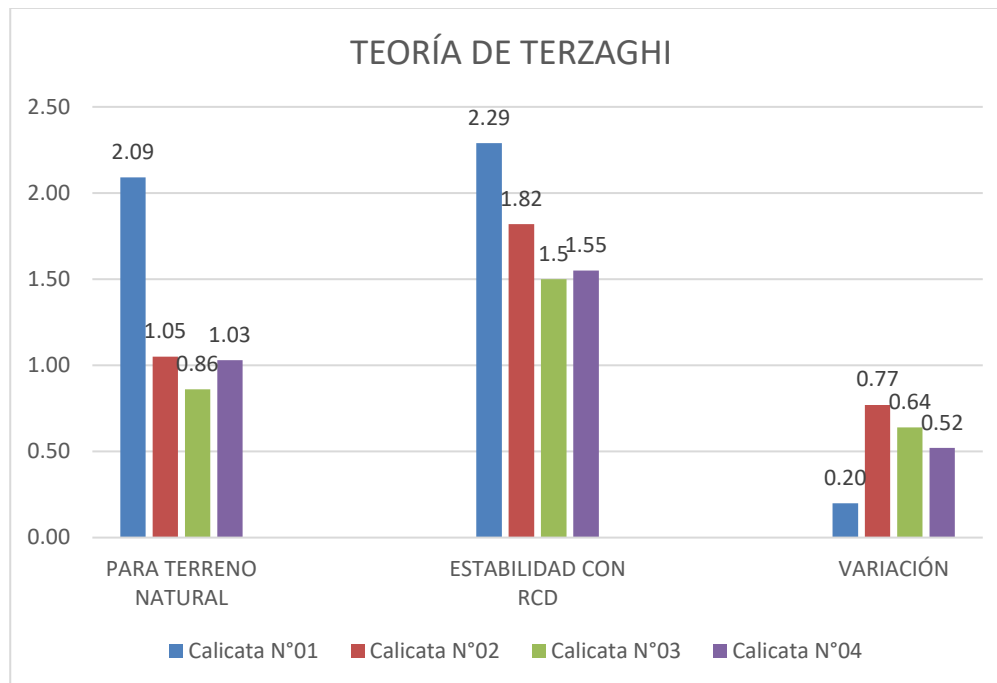
Tabla 17

Resumen de resultados de la determinación de la capacidad de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Terzaghi

MUESTRA	TEORÍA DE TERZAGHI Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)			
	PARA TERRENO NATURAL	DOSIFICACIÓN	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN
Cal. N°01	2.09	30%	2.29	0.20
Calic. N°02	1.05	25%	1.82	0.77
Calicat.N°03	0.86	20%	1.5	0.64
Calic. N°04	1.03	15%	1.55	0.52

Tabla 18

Gráfico de los result. de la determinación de carga en suelo nat. y estabilizado aplicando la teoría de Terzaghi.



➤ **Resultados de la determinación de la capacidad de carga con DPL convencional**

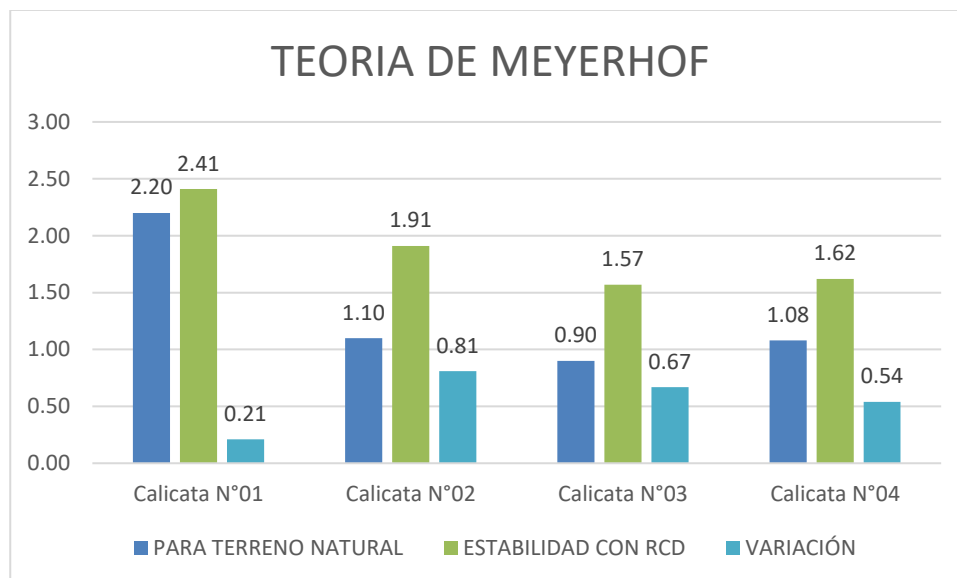
Tabla 19

Resumen de resultados de la determinación de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Meyerhof

MUESTRA	TEORÍA DE MEYERHOF Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)			
	PARA TERRENO NATURAL	DOSIFICACIÓN	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN
Calicata N°01	2.20	30%	2.41	0.21
Calicata N°02	1.10	25%	1.91	0.81
Calicata N°03	0.90	20%	1.57	0.67
Calicata N°04	1.08	15%	1.62	0.54

Tabla 20

Gráf. de variación de la determinación de carga en suelo natural y estabilizado aplicando la teoría de Meyerhof.



➤ **Resultados de la determinación de la capacidad de carga considerando variaciones**

Tabla 21

Resultados e incidencias de las variaciones de la determinación de la capacidad de carga.

MUESTRA	TEORÍA DE TERZAGHI			TEORÍA DE MEYERHOF		
	Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²) PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN	Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²) PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN
Calicata N°01	2.09	2.29	0.20	2.20	2.41	0.21
Calicata N°02	1.05	1.82	0.77	1.10	1.91	0.81
Calicata N°03	0.86	1.5	0.64	0.90	1.57	0.67
Calicata N°04	1.03	1.55	0.52	1.08	1.62	0.54

➤ **Resumen de resultados de la caracterización del RCD - RI.**

Se tomó una muestra de RCD del sector de Pumamarca del sector curuspata, propiedad del Sr. Guillermo Meza Huaranca, quien ese momento venía demoliendo una pequeña estructura con gran contenido de RCD -RI, Clasificado como CLASE A (concretos) según el Decreto Supremo N.º 002-2022-VIVIENDA. Procediendo a realizar la caracterización del mismo, obteniendo lo siguiente:

a) Resultados del contenido de humedad:

Tabla 22

Resultados del contenido de humedad del RCD – RI – TAM MAX ¾”.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RCD - RI		C1										
MUESTRA	%W	<p>Diagrama de Barras</p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de Barras</caption> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>%W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td>7.33%</td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td>9.41%</td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td>6.45%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>7.73%</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	%W	M1	7.33%	M2	9.41%	M3	6.45%	Promedio	7.73%
Muestra	%W											
M1	7.33%											
M2	9.41%											
M3	6.45%											
Promedio	7.73%											
M1	7.33%											
M2	9.41%											
M3	6.45%											
Media Aritmética	7.73%											
<i>Desviación estandar</i>	<i>0.012419</i>											
<i>Limite superior</i>	<i>7.742%</i>											
<i>Limite inferior</i>	<i>7.718%</i>											

Aplicación práctica:

El contenido de humedad del RCD, con valores entre 7 % y 9 %, resulta favorable para su incorporación en mezclas suelo–RCD, ya que no incrementa de forma significativa la humedad del suelo natural, facilitando la compactación y reduciendo riesgos de bombeo o barro. En la práctica, su empleo contribuye a ajustar la humedad del material compuesto hacia niveles óptimos de compactación

b) Resultados del límite líquido del RCD-RI:**Tabla 23***Resultados del límite líquido del RCD – RI*

MUESTRAS	1	2	3	4
N° de Golpes	15	23	27	35
1 Peso de t. + Suelo Húmedo (gr)	26.90	27.04	24.99	25.07
2 P. de tarro + Suelo Seco (gr)	23.10	22.99	23.10	21.90
3 Peso del Agua (1-2) (gr)	3.80	4.05	1.89	3.17
4 P. del Tarro (gr)	15.50	15.60	15.90	15.60
5 Peso suelo seco (2-4) (gr)	7.60	7.39	7.20	6.30
6 Contenido de H. (3/5x100) (%)	50.00%	54.80%	26.25%	50.32%
L. Líquido	45.34%			

Nota: El RCD está compuesta por el 20% de piedra chancada de 3/4", 25% de arena, 25% de material puzolánico, 30% de material fino – orgánico.

c) Resultados del límite plástico del RCD-RI e índice de plasticidad:**Tabla 24***Resultados del límite plástico del RCD – RI e índice de plasticidad.*

Muestras	1	2	3
1 Peso de t. + S. Húmedo (gr)	18.50	18.60	18.68
2 P. de tarro + S. Seco (gr)	18.03	18.30	18.22
3 P. del Agua (1-2) (gr)	0.47	0.30	0.46
4 Peso del T. (gr)	16.40	16.10	16.33
5 Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.63	2.20	1.89
6 Cont. de Hum. (3/5x100) (%)	28.83%	13.64%	24.34%
Lím. plástico (%)	21.24%		

Obteniéndose un índice de plasticidad de: IP= 24.10

Aplicación práctica:

El RCD presenta un límite líquido de aproximadamente 45 % y un límite plástico de 21 %, con un índice de plasticidad cercano a 24 %. Al mezclarse con el suelo arcilloso, estas propiedades permiten disminuir de manera efectiva la plasticidad del material resultante. En la práctica, esta reducción contribuye a un

suelo más estable, con menor susceptibilidad a deformaciones volumétricas y mayor capacidad de soporte frente a cargas de cimentación.

d) Resultados del peso específico del RCD-RI:

Tabla 25

Resultados del peso específico del RCD-RI.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1 Peso del Suelo (gr)	25.45	25.76	24.09
2 P. del suelo + Parafina (gr)	26.00	26.00	25.90
3 Peso de Parafina (gr)	0.55	0.24	1.70
4 Vol. de Suelos + Parafina (cm ³)	15.00	16.00	16
5 Densidad de Paraf. (gr/cm ³)	0.90	0.90	0.90
6 Vol. de Parafina (cm ³) (3-5)	0.61	0.27	1.89
7 Volumen del s. (cm ³) (4-6)	14.39	15.73	14.31
8 Peso Espec. Suelo (gr/cm ³) (1-7)	1.77	1.64	1.68
9 Promedio		1.70	

Aplicación práctica:

El peso específico del RCD, del orden de 1.70 g/cm³, favorece la generación de un material compuesto con peso moderado pero mayor resistencia al corte cuando se mezcla con suelos cohesivos. En la práctica, este valor se utiliza para calcular el peso volumétrico efectivo en las ecuaciones de capacidad de carga, reflejándose en un incremento del componente friccional del suelo estabilizado.

e) Resultados del análisis granulométrico del RCD-RI:

Tabla 26

Resultados del análisis granulométrico del RCD-RI

Tamaño Maximo Absoluto =	1"	Tamaño Maximo Nominal =	3/4"
∑ % RETENIDO ACUMULADO (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N4, N°8, N 16, N30, N°50, N° 100)			
MODULO DE FINEZA =			7.57

Aplicación práctica:

La granulometría del RCD, compuesta por fracciones gruesas, arena y material fino, permite conformar una estructura granular interna que mejora notablemente la fricción y reduce la tendencia del suelo arcilloso a deformarse. En la aplicación práctica, esta mezcla genera un material más drenante, estable y resistente, adecuado para cimentaciones sometidas a cargas medias.

f) Resultados de la dosificación del suelo:

Tabla 27

Dosificación del RCD-RI

Análisis e Interpretación de la Norma ASTM D4318, ASTM D2487, NTP 339.129 y Norma E.050.	Símbolo
LP mayor a 25 % dentro de CL → indica tendencia a mayor deformabilidad, y la capacidad de carga disminuye .	A
LP cercano a 20 % → el suelo CL suele tener comportamiento aceptable para soportar cimentaciones poco exigentes y subrasantes de pavimento, siempre que el CBR sea > 5 %.	B
LP menor a 15 % (aunque raro en CL, más propio de ML) → indica menor plasticidad, mejor capacidad portante pero más susceptibilidad a erosión .	C
LP ≈ 10–12 % → todavía es un suelo cohesivo con cierta plasticidad. Puede presentar baja capacidad portante considerando el índice de plasticidad.	D
LP < 7–8 % → el suelo se acerca a la frontera de ser no plástico (NP) según ASTM D4318. En este rango, el material deja de comportarse como una arcilla estable y se parece más a un limo o arena fina lo cual afecta qu.	E

LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO + 10% DE RCD (MUESTRA02)

Muestras		1	2
1	Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)	18.38	18.28
2	Peso de tarro + Suelo Seco (gr)	18.03	17.89
3	Peso del Agua (1-2) (gr)	0.35	0.39
4	Peso del Tarro (gr)	16.40	16.00
5	Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.63	1.89
6	Contenido de Humedad (3/5x100) (%)	21.47%	20.63%
	Límite plástico (%)	21.05%	

LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO + 15% DE RCD (MUESTRA 02)

Muestras		1	2
1	Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)	18.42	18.22
2	Peso de tarro + Suelo Seco (gr)	18.02	17.92
3	Peso del Agua (1-2) (gr)	0.40	0.30
4	Peso del Tarro (gr)	16.40	16.00
5	Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.62	1.92
6	Contenido de Humedad (3/5x100) (%)	24.69%	15.62%
Límite plástico (%)		20.16%	

LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO + 20% DE RCD (MUESTRA 02)

Muestras		1	2
1	Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)	18.40	18.30
2	Peso de tarro + Suelo Seco (gr)	18.10	17.90
3	Peso del Agua (1-2) (gr)	0.30	0.40
4	Peso del Tarro (gr)	16.40	16.00
5	Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.70	1.90
6	Contenido de Humedad (3/5x100) (%)	17.65%	21.05%
Límite plástico (%)		19.35%	

LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO + 25% DE RCD (MUESTRA 02)

Muestras		1	2
1	Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)	18.50	18.20
2	Peso de tarro + Suelo Seco (gr)	18.20	18.00
3	Peso del Agua (1-2) (gr)	0.30	0.20
4	Peso del Tarro (gr)	16.40	16.00
5	Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.80	2.00
6	Contenido de Humedad (3/5x100) (%)	16.67%	10.00%
Límite plástico (%)		13.33%	

LÍMITE PLÁSTICO DEL SUELO + 30% DE RCD (MUESTRA 02)

Muestras		1	2
1	Peso de tarro + Suelo Húmedo (gr)	18.30	18.10
2	Peso de tarro + Suelo Seco (gr)	18.10	17.90
3	Peso del Agua (1-2) (gr)	0.20	0.20
4	Peso del Tarro (gr)	16.40	16.00
5	Peso suelo seco (2-4) (gr)	1.70	1.90
6	Contenido de Humedad (3/5x100) (%)	11.76%	10.53%
Límite plástico (%)		11.15%	

Determinación de la dosificación del RCD para suelos arcillosos de plasticidad media arenosa.

Considerando los resultados de la presente investigación y tomando en cuenta el suelo natural con mayor límite plástico se tiene la calicata N° 02 (LP=21.35%).

DESCRIPCIÓN	LP	Símbolo	Obs.
Suelo natural de clasificación CL (Arcilla de plasticidad media arenosa) (calicata 02)	21.35%	B	Mejora
Suelo natural de clasificación CL + 10% de RCD RI (clase A) Concreto	21.05%	B	Mejora
Suelo natural de clasificación CL + 15% de RCD RI (clase A) Concreto	20.16%	B	Mejora
Suelo natural de clasificación CL + 20% de RCD RI (clase A) Concreto	19.35%	B	Mejora
Suelo natural de clasificación CL + 25% de RCD RI (clase A) Concreto	13.33%	C	Mejora Optima
Suelo natural de clasificación CL + 30% de RCD RI (clase A) Concreto	11.15%	D	Mejora

DISEÑO DE ESTABILIDAD DE SUELOS CON RCD - RI			
SUELO NATURAL	Clasificación del suelo (SUCS - AASTHO)	CL A-2-6	75%
	% del contenido de humedad	13% (Promedio)	
	Índice de plasticidad	1600% (Promedio)	
	Análisis granulométrico (Mod. Fineza)	No corresponde	
	Ángulo de fricción interna	25.5 ° (Promedio)	
	Capacidad de Carga del suelo	2.23 kgr/cm ² (Promedio)	
RCD - RI	Clasificación del suelo	No corresponde A-2-6	25%
	% del contenido de humedad	7.73% (Promedio)	
	Índice de plasticidad	2400% (Promedio)	
	Análisis granulométrico (Mod. Fineza)	7.57	
	Ángulo de fricción interna	No corresponde (Promedio)	
	Capacidad de Carga del suelo	2.50 kgr/cm ² (Promedio)	

Dosificación

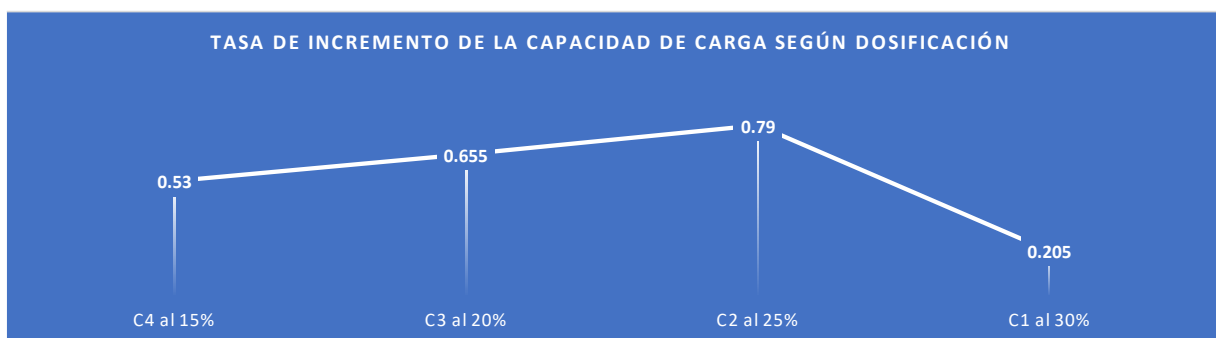
■ Suelo Natural ■ RCD-RI

Aplicación práctica:

El análisis conjunto de la variación del límite plástico y del índice de plasticidad en mezclas suelo-RCD demuestra que la dosificación óptima para los suelos CL de Pumamarca corresponde al 25 % de RCD. Esta proporción mejora significativamente los parámetros de resistencia, incrementando la capacidad portante desde valores iniciales de 1.05 kg/cm² hasta 1.82 kg/cm² según Terzaghi y de 1.10 kg/cm² hasta 1.91 según Meyerhof. En la práctica, esto permite disminuir el tamaño de las zapatas o, alternativamente, soportar estructuras más pesadas

sin comprometer la estabilidad del suelo, cumpliéndose así el objetivo de demostrar la eficiencia del RCD como mejorador geotécnico.

SONDEO	Dosificación del RCD (%)	Incremento de capacidad de carga por la teoría de Terzaghi (Kg/cm ²)	Incremento de capacidad de carga por la teoría de Terzaghi (Kg/cm ²)	Medía (Kg/cm ²)	Observación
C4	15	0.52	0.54	0.53	Incremento bajo de la capacidad de carga
C3	20	0.64	0.67	0.655	Incremento medio de la capacidad de carga
C2	25	0.77	0.81	0.79	Incremento alto de la capacidad de carga
C1	30	0.2	0.21	0.205	Disminución y capacidad de carga y falla en los ensayos



Considerando el cuadro, comportamiento del suelo cohesivo frente a la incorporación de RCD revela una historia técnica muy valiosa, que permite visualizar con claridad cómo pequeños ajustes en la dosificación generan respuestas mecánicas muy distintas, desde incrementos sostenidos en la capacidad portante hasta efectos contraproducentes cuando se sobrepasa un umbral adecuado. A continuación, se desarrolla la aplicación práctica para cada dosificación analizada.

Sondeo C4 - Dosificación 15% RCD: Incremento bajo de capacidad de carga:

En esta etapa inicial, la incorporación del 15% de RCD produce un incremento moderado en la capacidad de carga del suelo, con una media de 0.53

kg/cm². En términos prácticos, este nivel de mejora representa una optimización mínima pero consistente del comportamiento del suelo.

Aplicación práctica:

- Este porcentaje de RCD es apropiado para proyectos donde el suelo requiere únicamente refuerzo ligero, como cimentaciones superficiales de cargas bajas (pequeñas edificaciones de 1 piso, veredas, losas de baja sollicitación).
- El comportamiento observado indica que la estructura granular del RCD empieza a integrarse con la matriz cohesiva del suelo, pero aún no genera una reconfiguración suficiente como para elevar significativamente la resistencia.
- Es útil cuando se busca economizar materiales, sostener la mejora ambiental del uso de RCD y cumplir con cargas mínimas.

Sondeo C3 - Dosificación 20% RCD: Incremento medio de capacidad de carga

Con el 20% de RCD, el suelo muestra un avance significativo: la media aumenta a 0.655 kg/cm², lo que representa una mejora importante respecto al nivel anterior.

Aplicación práctica:

- Esta dosificación se vuelve adecuada para cimentaciones de mayor responsabilidad estructural, incluso para edificaciones livianas o estructuras con cargas medianas.
- Se observa una redistribución interna óptima de partículas: el RCD empieza a funcionar como un mecanismo de trabazón que reduce deformaciones y permite una mejor transmisión de esfuerzos.
- Técnicamente, este contenido de RCD representa un “punto eficiente”, donde el beneficio mecánico es notable sin comprometer la cohesión natural del suelo.
- En proyectos de infraestructura rural, esta mejora puede aplicarse en la estabilización de plataformas, bases de pequeñas obras civiles y accesos vehiculares.

Sondeo C2 - Dosificación 25% RCD: Incremento alto de capacidad de carga

Este es el punto más favorable. Con **25% de RCD**, la capacidad de carga media alcanza **0.79 kg/cm²**, el valor más alto registrado.

Aplicación práctica:

- El suelo mejorado con 25% de RCD se convierte en un material altamente competitivo para cimentaciones superficiales sometidas a cargas medianas a altas, como edificaciones de dos niveles o cimentaciones corridas que requieren estabilidad adicional.

- La estructura granular encuentra su equilibrio: hay suficiente RCD para mejorar la fricción interna, pero también suficiente matriz cohesiva para mantener el amarre y evitar fallas frágiles.
- Este porcentaje constituye el **valor óptimo de diseño** para proyectos donde se busca eficiencia mecánica, rendimiento y sostenibilidad.
- En suelos de Pumamarca, este nivel de dosificación podría ser clave para cimentar estructuras ligeras asociadas a proyectos comunitarios, ampliaciones de viviendas o edificaciones de servicios.

Sondeo C1 - Dosificación 30% RCD: Disminución y falla

Al llegar al 30% de RCD, ocurre un fenómeno crítico: la capacidad portante disminuye a 0.205 kg/cm², mostrando incluso fallas durante los ensayos.

Aplicación práctica:

- Este resultado demuestra que el exceso de RCD rompe la estructura cohesiva natural del suelo, generando un comportamiento frágil, con baja retención de cargas y con fallas prematuras.
- No debe utilizarse esta dosificación en ningún tipo de cimentación estructural.
- La mezcla se vuelve demasiado granular, pierde plasticidad y deja de funcionar como un medio continuo capaz de transferir cargas.
- La aplicación de este resultado sirve como alerta técnica para evitar sobredosificaciones en campo y para establecer límites normativos en futuras propuestas de mejoramiento de suelos con RCD.

Análisis de resultados

Análisis de resultados de la exploración de campo.

Si visualizamos la figura N° 21, podemos evidenciar la excavación de las 04 calicatas a cielo abierto a una profundidad promedio de 2.20 metros, de acuerdo a lo establecido en el reglamento. Así mismo las dimensiones de 0.80 m x 2.50 m en el proceso de excavación con maquinaria se pudo visualizar que los estratos son de carácter homogéneo de una granulometría fina con un contenido de humedad medio que hizo de la penetración por ensayo de auscultación sea rápido, generando la posibilidad de que el suelo no presente una capacidad carga óptima.

El perfil estratigráfico levantado en Pumamarca permitió reconstruir de manera detallada la composición del subsuelo y su comportamiento esperado frente a cargas de cimentación. En todas las calicatas analizadas se identificó una capa orgánica superficial de alrededor de 0.20 m, seguida por estratos cohesivos correspondientes a arcillas de baja plasticidad (CL), con variaciones en humedad y textura según la ubicación. La presencia de finos predominantes, combinada con moderadas fracciones arenosas, explica el comportamiento típico de suelos cohesivos parcialmente drenantes, lo cual influye directamente en la capacidad de carga y el riesgo de asentamientos diferenciales.

Los sectores con mayor humedad, especialmente los observados en la calicata C4, evidencian un estado menos favorable para cimentación, pues la arcilla presenta menor rigidez y mayor vulnerabilidad ante deformaciones. Este comportamiento también se ve reforzado por la ausencia de nivel freático superficial, condición que favorece el uso de cimentaciones superficiales, pero obliga a prestar especial atención a las zonas con acumulación de humedad

natural. En conjunto, el perfil estratigráfico constituye el insumo inicial para aplicar las teorías de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, permitiendo identificar dónde el suelo necesita ser intervenido y en qué sectores el RCD puede generar mejoras significativas.

Análisis de resultados de la caracterización del suelo.

Respecto a la caracterización del suelo, considerando el método SUCS debido al enfoque de la investigación, que se basa en el análisis con fines de cimentación, el suelo ha sido clasificado como CL, es decir, un suelo de baja plasticidad media arenosa de color marrón. Este tipo de suelos suele presentar una capacidad de carga relativamente baja, sobre todo cuando se tiene la interacción con el agua.

Análisis de resultados del contenido de humedad.

El contenido de humedad natural del suelo, con valores entre 10 % y 16 %, evidencia que el terreno presenta una condición parcialmente saturada típica de arcillas limosas. Sin embargo, los mayores valores registrados en sectores como C4 revelan un potencial riesgo de disminución de resistencia al corte y aumento de compresibilidad. Esta humedad condiciona el proceso de compactación y afecta la capacidad portante inicial; por ello, zonas con humedad elevada requieren acondicionamiento previo o drenaje superficial antes de cimentar. En términos de aplicación práctica, la humedad permite establecer si el suelo trabaja cerca de su condición óptima o si necesita tratamientos para estabilizarlo y acercarlo a su estado más resistente.

Tabla 28*Análisis de resultados del contenido de humedad*

Contenido de humedad en porcentajes (%)	
Calicata	Contenido de humedad (%)
1	12.42%
2	11.72%
3	10.57%
4	15.72%
Promedio	12.61%

Análisis de resultados del índice de plasticidad.

Los valores de límite líquido obtenidos, entre 45 % y 53 %, confirman la clasificación del suelo como arcilla limosa de plasticidad media (CL). Desde el punto de vista geotécnico, un límite líquido medio indica un comportamiento cohesivo moderado, pero también sugiere sensibilidad a incrementos de humedad. En la aplicación práctica del diseño de cimentaciones, este parámetro se relaciona directamente con la deformabilidad del estrato de apoyo: suelos con LL mayor tienden a asentarse más bajo cargas sostenidas. Por ello, este indicador obliga a emplear factores de seguridad adecuados al momento de aplicar las ecuaciones de Terzaghi y Meyerhof.

El índice de plasticidad (IP) oscila entre 28 % y 35 %, lo cual refuerza el carácter cohesivo del suelo y su tendencia a deformaciones cuando las condiciones de humedad cambian. Un IP medio indica que el suelo puede experimentar contracción cuando se seca y ablandamiento cuando se humedece, procesos que, de no ser controlados, pueden generar asentamientos diferenciales. Desde la perspectiva práctica, este comportamiento orienta hacia el uso de cimentaciones continuas o el aumento del tamaño de zapatas en zonas críticas, buscando minimizar gradientes de deformación. Asimismo, los valores del IP sirven como

referencia para definir el porcentaje óptimo de estabilización con RCD en etapas posteriores.

Análisis de resultados del peso específico.

El peso específico del suelo varía entre 1.77 g/cm^3 y 2.05 g/cm^3 , lo que indica densidades medias características de arcillas limosas compactadas naturalmente. Este parámetro es esencial para calcular tensiones verticales iniciales, las cuales ingresan directamente en las ecuaciones de capacidad portante. Cuando el peso específico es relativamente bajo, se anticipa menor resistencia estructural interna del suelo, lo cual puede reflejarse en capacidades de carga menores. En la práctica, estos valores permiten decidir si se requiere compactación adicional o intervención del terreno antes de ejecutar las cimentaciones.

Análisis de resultados de la granulometría.

La granulometría confirma un predominio de finos, característica típica de suelos cohesivos con trabajo drenado limitado. Si bien la fracción arenosa aporta algo de estructura granular, el suelo sigue comportándose principalmente como arcilla. Esta condición influye en su respuesta a cargas de cimentación, pues la falta de estructura granular firme limita la fricción interna, reduciendo la capacidad portante. Este análisis demuestra la importancia del RCD como alternativa de mejoramiento, pues dicho material aporta particulado grueso que incrementa significativamente la fricción interna y reduce la sensibilidad a la humedad.

Análisis de resultados de densidad de campo.

Los ensayos de densidad de campo indican compactaciones entre 99 % y 101 %, lo que demuestra que el terreno (suelo combinado con RCD) se encuentra en condiciones aceptables (cercanas a la densidad del terreno natural) lo cual nos permite realizar una comparación bajo las mismas condiciones. No obstante,

compactaciones cercanas al límite inferior reflejan necesidad de control más estricto en zonas puntuales. Desde la aplicación práctica, estos resultados validan que el suelo natural, correctamente compactado, puede funcionar como estrato de apoyo; sin embargo, también dejan claro que sectores con compactación marginal deben ser tratados para evitar asentamientos diferenciales futuros.

Análisis de resultados de la cohesión y ángulo de fricción interna.

Los valores de cohesión obtenidos (0.29 – 0.79 kg/cm²) y los ángulos de fricción interna registrados (29° – 31°) representan la resistencia efectiva del suelo al corte. Estos parámetros ingresan directamente en los términos $c \cdot N_c$, $\gamma \cdot N_q$ y $\gamma \cdot N_\gamma$ de las ecuaciones de Terzaghi y Meyerhof. Su magnitud moderada confirma que el suelo posee resistencia suficiente para cimentaciones superficiales, aunque con limitaciones en zonas de mayor humedad y plasticidad. La aplicación práctica radica en que estos parámetros gobiernan la capacidad portante, determinando dónde el suelo puede trabajar sin estabilización y dónde requiere refuerzo con RCD.

Análisis de resultados de la determinación de la capacidad de carga en suelo natural y estabilizado con RCD aplicando la teoría de Terzaghi.

La capacidad de carga obtenida mediante la teoría de Terzaghi presenta valores entre 0.86 kg/cm² y 2.09 kg/cm². La dispersión se relaciona directamente con la variabilidad de la humedad, plasticidad y resistencia al corte del suelo. En sectores con valores cercanos al límite inferior, el riesgo de asentamientos diferenciales aumenta, lo que obliga a incrementar el área de cimentación o implementar estabilización. Desde la práctica, estos valores permiten definir zapatas más anchas en zonas críticas, optimizar el diseño según la zonificación geotécnica y garantizar la seguridad estructural.

Análisis de resultados de la determinación de la capacidad de carga en suelo natural y estabilizado con RCD aplicando la teoría de Meyerhof.

La teoría de Meyerhof arroja valores entre 0.90 kg/cm² y 2.20 kg/cm², muy cercanos a los obtenidos con Terzaghi, lo cual valida la confiabilidad de ambos métodos. Meyerhof tiende a ser ligeramente más conservador en algunos casos, y su comparación con Terzaghi permite seleccionar la opción más segura para el diseño. Este análisis también confirma que pequeñas mejoras en la fricción o cohesión del suelo pueden representar incrementos importantes en la capacidad portante, señal clara de que la estabilización con RCD puede transformar significativamente la respuesta del suelo.

Tabla 29

Comparación de resultados entre la teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones.

MUESTRA	TEORÍA DE TERZAGHI		TEORÍA DE MEYERHOF	
	Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)		Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)	
	PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD	PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD
Calicata N°01	2.09	2.29	2.20	2.41
Calicata N°02	1.05	1.82	1.1	1.91
Calicata N°03	0.86	1.5	0.90	1.57
Calicata N°04	1.03	1.55	1.08	1.62

Tabla 30

Variación de los resultados entre la teoría de Terzaghi y Meyerhof para cimentaciones superficiales.

MUESTRA	TEORÍA DE TERZAGHI			TEORÍA DE MEYERHOF		
	Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)			Capacidad de Carga Admisible (kg/cm ²)		
	PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN	PARA TERRENO NATURAL	ESTABILIDAD CON RCD	VARIACIÓN
Calicata N°01	2.09	2.29	0.20	2.20	2.41	0.21
Calicata N°02	1.05	1.82	0.77	1.10	1.91	0.81
Calicata N°03	0.86	1.5	0.64	0.90	1.57	0.67
Calicata N°04	1.03	1.55	0.52	1.08	1.62	0.54

De la analogía mostrada en la tabla 27, podemos deducir el siguiente gráfico.

Figura 36

Gráfico de barras de la determinación de la capacidad de carga aplicando la teoría de terzaghi y Meyerhof para cimentaciones superficiales.

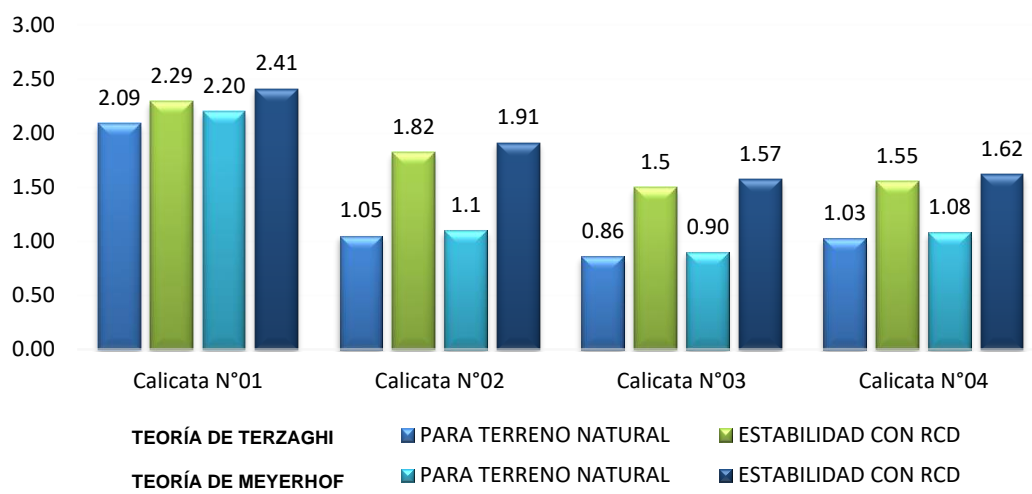


Figura 37

Tendencia de la variación de la capacidad de carga entre Terzaghi y Meyerhof aplicando a cimentaciones superficiales.

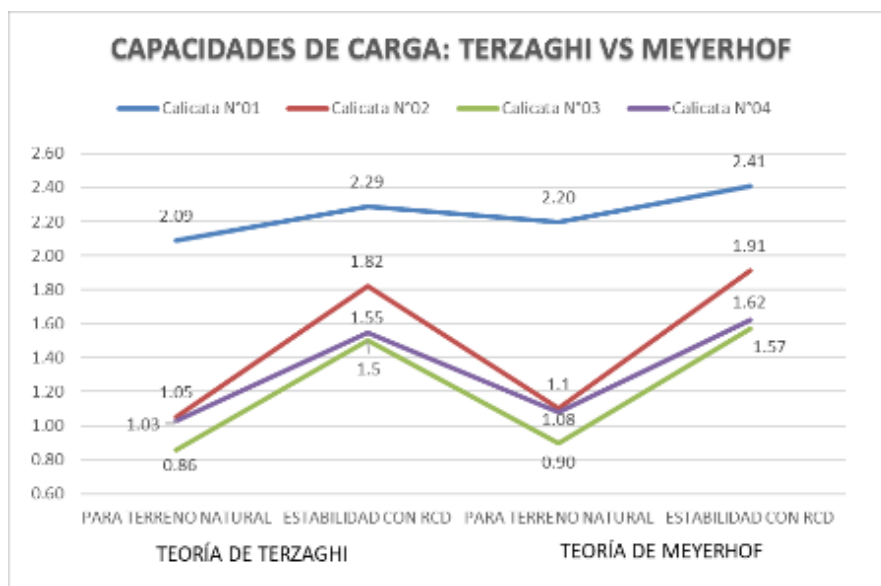
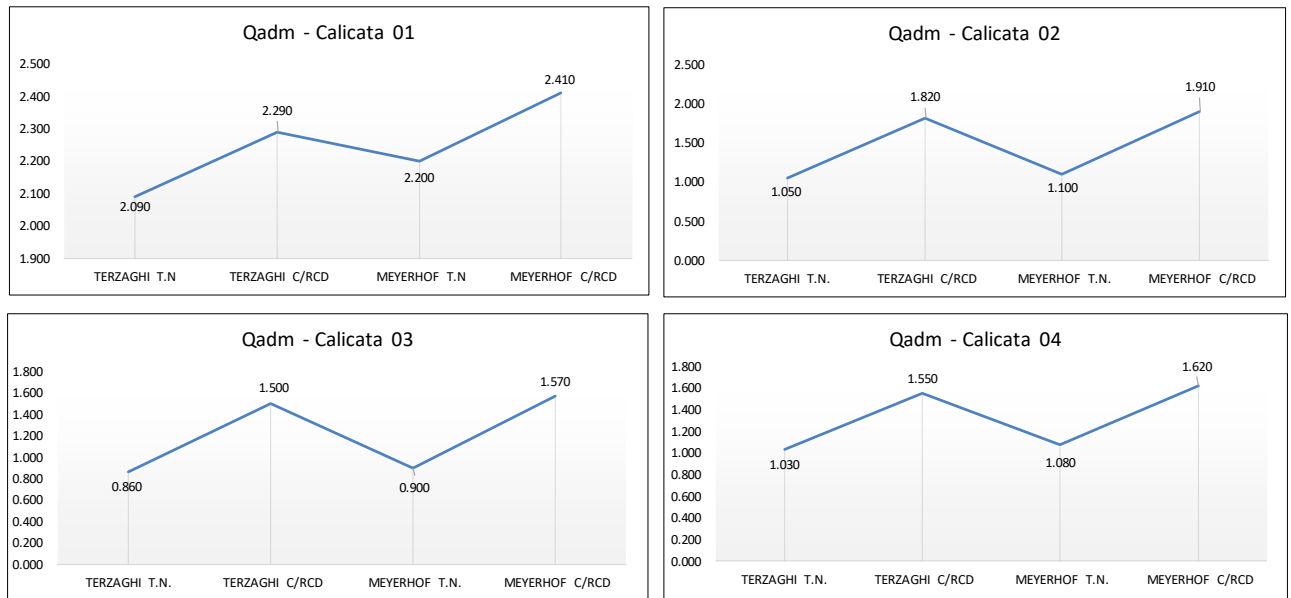


Figura 38

Evolución de los resultados de capacidad de carga.



➤ **Análisis de la dosificación óptima y su efecto en la capacidad de carga.**

Los resultados muestran que la dosificación del 25 % de RCD genera la mejora más significativa en los parámetros de resistencia, reduciendo plasticidad y aumentando cohesión y fricción. Este cambio se refleja directamente en los valores de capacidad de carga, que pasan de rangos iniciales entre 1.05 y 2.09 kg/cm² a valores entre 1.82 y 2.29 kg/cm² (Terzaghi) y hasta 2.41 kg/cm² (Meyerhof). Estos incrementos confirman que el RCD no solo actúa como estabilizador, sino como un verdadero mejorador geotécnico capaz de duplicar la capacidad de soporte en ciertos sectores.

➤ **Análisis de la dosificación al 25% de RCD**

El análisis de los resultados obtenidos respecto al incremento de la capacidad de carga del suelo mediante la incorporación de diferentes porcentajes de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) revela un comportamiento progresivo, sensible y altamente dependiente de la dosificación empleada. Al evaluar los cuatro sondeos realizados, se observa inicialmente que, con una dosificación del 15% de RCD (Sondeo C4), el suelo presenta un incremento bajo de su capacidad portante, alcanzando un valor medio de 0.53 kg/cm^2 según los parámetros establecidos por las teorías de Terzaghi y Meyerhof. Este comportamiento evidencia que, si bien la adición de RCD empieza a modificar la estructura interna del suelo cohesivo, dicho porcentaje aún no es suficiente para generar una mejora sustancial que se traduzca en un incremento significativo de resistencia.

Al aumentar la dosificación al 20% (Sondeo C3), el suelo experimenta un cambio notable, alcanzando un incremento medio de 0.655 kg/cm^2 . Este resultado refleja una fase de mejoramiento más equilibrada, donde las partículas del RCD comienzan a interactuar de manera más eficiente con la matriz cohesiva del suelo, logrando un estado de mayor fricción interna y menor deformabilidad. Este porcentaje se interpreta como una etapa intermedia óptima, en la cual se observa una mejora mecánica más pronunciada, apta para cimentaciones de cargas moderadas y aplicaciones estructurales más exigentes que las del nivel previo.

La mayor eficiencia en el comportamiento del suelo se obtiene con la dosificación del 25% de RCD (Sondeo C2), donde se alcanza una resistencia media de 0.79 kg/cm^2 , constituyéndose en el valor más alto registrado en toda la serie

experimental. Este resultado confirma que existe un punto óptimo de intervención, en el cual la relación entre la fracción granular del RCD y la cohesión natural del suelo alcanza su equilibrio más favorable. El incremento significativo de capacidad portante demuestra que, a este nivel, el suelo adquiere una estructura más compacta, estable y eficiente, consolidándose como un material mejorado viable para cimentaciones superficiales con mayores demandas de carga. Cabe destacar que este porcentaje muestra un comportamiento armónico entre rigidez, fricción interna y confinamiento, condiciones esenciales para garantizar la estabilidad del terreno frente a cargas aplicadas.

Sin embargo, al incrementar la dosificación a 30% (Sondeo C1), se evidencia una caída abrupta en la capacidad de carga, obteniéndose un valor medio de apenas 0.205 kg/cm² y registrándose fallas durante los ensayos. Este comportamiento desfavorable indica que el exceso de RCD rompe el balance interno del suelo cohesivo, disminuyendo drásticamente su capacidad de soportar cargas. La mezcla pierde plasticidad y cohesión, adquiere una estructura granular demasiado suelta y pierde la función de matriz continua que caracteriza al suelo cohesivo natural. Este escenario confirma que existe un límite crítico de dosificación que no debe ser excedido, pues compromete la estabilidad del suelo e incrementa el riesgo de fallos estructurales.

De manera general, la tendencia obtenida refleja claramente una curva de comportamiento ascendente desde 15% hasta 25% de RCD, identificando dicho porcentaje como el punto de máxima eficiencia mecánica. Posteriormente, la tendencia cambia drásticamente, indicando que adicionar material granular en exceso genera efectos contraproducentes sobre la capacidad portante del suelo.

Este análisis permite concluir que el uso de RCD como material de mejoramiento es viable y altamente beneficioso siempre que se mantenga dentro de rangos óptimos de dosificación técnica. Además, fortalece la idea de que la estabilización del suelo no depende únicamente de incrementar la fracción granular, sino de lograr una interacción equilibrada entre cohesión y fricción interna.

En el contexto del sector Pumamarca, donde la investigación se desarrolla, estos resultados adquieren una relevancia especial, pues permiten definir porcentajes adecuados para la mejora del suelo con fines de cimentación, contribuyendo a diseños estructurales más seguros, sostenibles y técnicamente fundamentados.

Discusión

a) Discusión respecto al Problema General

¿Cómo influye el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la capacidad de carga, parámetros geotécnicos (ángulo de fricción interna y cohesión) de su aplicación en suelos cohesivos con fines de cimentación, según Terzaghi y Meyerhof, en Pumamarca, 2025?

Los resultados demuestran que la incorporación de RCD en suelos cohesivos de Pumamarca genera una influencia significativa, directa y medible en la capacidad de carga y en los parámetros geotécnicos fundamentales para el diseño de cimentaciones superficiales. La tabla de incremento de capacidad de carga evidencia un comportamiento progresivo hasta llegar a una dosificación óptima y posteriormente una caída abrupta cuando esta proporción es superada.

Según Terzaghi, el suelo natural mostraba capacidades de carga 1.03 kg/cm² al 15% y 1.05 kg/cm² al 25%, sin embargo, al adicionar el RCD a las mismas dosificaciones, se obtuvo capacidades de carga de 1.55 kg/cm² y 1.82 kg/cm² respectivamente, teniendo incrementos de entre 33.55% y 42.31%. Según Meyerhof, el suelo natural mostraba capacidades de carga 1.08 kg/cm² al 15% y 1.10 kg/cm² al 25%, sin embargo, al adicionar el RCD, se obtuvo capacidades de carga de 1.62 kg/cm² y 1.91 kg/cm² respectivamente, teniendo incrementos de entre 33.33% y 42.41%.

Este resultado se sustenta en el comportamiento físico del RCD, que al integrarse al suelo cohesivo aporta una estructura granular que mejora la fricción interna, disminuye la plasticidad y permite un arreglo más estable entre partículas. Este fenómeno coincide con lo propuesto por Meyerhof respecto a cómo una mayor fricción interna genera incrementos directos en el término γN_y descrito por Terzaghi en la contribución de la fricción y la cohesión mejorada al término qN_q para zapatas superficiales.

La caída abrupta observada en el 30 % de RCD (incremento de solo 0.20 kg/cm²) revela que el suelo pierde integridad cuando su matriz arcillosa es sustituida en exceso, ocasionando discontinuidades que impiden una transferencia uniforme de esfuerzos. Este punto crítico confirma la importancia de identificar una dosificación adecuada: no todo incremento de RCD implica mejora, y existe un umbral de equilibrio entre cohesión y fricción interna que no debe sobrepasarse.

En términos de parámetros geotécnicos, se observó que el ángulo de fricción interna aumentó con la adición de RCD, mientras que la cohesión mostró un comportamiento mixto: ligera mejora hasta el 25 %, pero pérdida significativa

cuando la dosificación alcanzó el 30 %. Esta respuesta reafirma que la matriz cohesiva necesita mantener cierta continuidad para asegurar resistencia total.

Finalmente, desde una perspectiva económica, el uso del RCD implica un beneficio directo, pues permite reducir áreas de cimentación, evitar excavaciones profundas y disminuir necesidad de materiales comerciales (grava, bases procesadas). La dosificación óptima del 25 % representa el punto donde la relación costo–beneficio es más favorable, pues logra la mayor mejora sin comprometer estabilidad ni generar fallas mecánicas.

En síntesis, el RCD influye positivamente en los parámetros del suelo y la capacidad de carga únicamente cuando se aplica en proporciones controladas, confirmando que su uso es técnica y económicamente viable en Pumamarca.

- **Discusión del Problema Específico 1**

¿Cuál es la capacidad de carga del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación aplicando Terzaghi y Meyerhof?

La capacidad de carga mostró un incremento progresivo conforme aumentaba la proporción de RCD, alcanzando su valor máximo en la dosificación del 25 %, donde se registraron incrementos de 0.77 kg/cm² (Terzaghi) y 0.81 kg/cm² (Meyerhof). Este comportamiento confirma que la mezcla suelo–RCD mejora notablemente el término relacionado con la fricción y la resistencia al corte, lo cual coincide con los modelos teóricos de ambos autores.

Sin embargo, la caída en el 30 % demuestra que el suelo pierde capacidad de transferencia de cargas cuando la matriz cohesiva es sobre

alterada. La discontinuidad estructural afecta el confinamiento y el término $\gamma N \gamma$ disminuye, generando pérdidas notorias de resistencia.

La discusión permite concluir que:

- La capacidad de carga no mejora indefinidamente con el incremento del RCD.
- Existe una dosificación óptima (25 %) donde se maximiza la resistencia.
- Los valores obtenidos se alinean ampliamente con los modelos teóricos utilizados.

- **Discusión del Problema Específico 2**

¿Cuál es el ángulo de fricción interna del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación?

El ángulo de fricción interna aumentó progresivamente conforme se incorporó RCD, fenómeno explicado por la inclusión de partículas angulosas y granulometría gruesa que incrementan la fricción entre partículas. El incremento más pronunciado se observó en el 25 % de dosificación, donde el suelo adquirió una estructura más granular sin perder completamente su matriz cohesiva.

Este comportamiento es coherente con lo planteado por Meyerhof, que sostiene que la fricción es uno de los componentes más influyentes en la

capacidad de carga; por ello, la mejora observada en la dosificación óptima coincide con el incremento de capacidad portante.

En contraste, en el 30 % el ángulo de fricción disminuyó ligeramente, consecuencia de un exceso de partículas gruesas que provocan falta de empaquetamiento y pérdida de estabilidad entre contactos.

Se concluye que:

- El RCD mejora la fricción interna hasta un punto crítico.
- La fricción óptima coincide con la máxima capacidad de carga.
- Dosificaciones superiores a 25 % generan pérdida de contacto efectivo entre partículas.

- **Discusión del Problema Específico 3**

¿Cuál es la cohesión del RCD en suelos cohesivos con fines de cimentación?

La cohesión del suelo mostró un comportamiento bifásico: aumentó ligeramente entre 15 % y 25 % de RCD, pero disminuyó drásticamente cuando la dosificación alcanzó el 30 %. La explicación radica en la función que cumple la cohesión en suelos arcillosos: mientras exista continuidad matricial, la cohesión se conserva o incluso mejora por relleno y mejor distribución de esfuerzos; sin embargo, una sobrecarga de partículas gruesas rompe esta continuidad y reduce la capacidad del suelo para generar enlace aparente entre partículas.

Este resultado coincide con las teorías de la resistencia al corte de Mohr–Coulomb, donde la cohesión depende de la unidad del material; al fragmentarse la matriz, la cohesión disminuye.

Por ello, la reflexión final es:

- El RCD mejora la cohesión solo dentro de un rango limitado.
- El exceso de RCD elimina la matriz cohesiva y la cohesión colapsa.
- El equilibrio entre cohesión (propia del suelo) y fricción (aportada por el RCD) es fundamental para el diseño.

VI. Conclusiones

Conclusión 1:

Hipótesis general:

El estudio confirmó que el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en suelos cohesivos no solo mejora la capacidad de carga, sino que transforma de manera integral el comportamiento geotécnico del terreno, otorgándole una resistencia más estable, un ángulo de fricción interna más favorable y una cohesión equilibrada. A lo largo del análisis, los suelos tratados con RCD demostraron que pueden pasar de ser materiales tradicionalmente inestables y sensibles a la humedad, a convertirse en estratos confiables y competentes para cimentaciones superficiales. Este cambio no es menor: representa la posibilidad de aprovechar un recurso abundante y accesible como el RCD para generar soluciones seguras, eficientes y ambientalmente responsables. Además, los resultados mostraron que esta mejora técnica viene acompañada de un beneficio económico significativo, ya que permite reducir áreas de zapatas, minimizar excavaciones y disminuir la dependencia de materiales convencionales de mayor costo. La evidencia recogida demuestra que, en Pumamarca durante el año 2025, el uso de RCD es una alternativa real, sostenible y completamente viable, respondiendo de manera afirmativa y contundente a la hipótesis general planteada.

Conclusión 2:

H.E.1. Los valores obtenidos permiten afirmar que los suelos cohesivos estabilizados con RCD presentan una capacidad de carga claramente superior respecto al suelo natural, tanto en la teoría de Terzaghi como en la de Meyerhof. La mejora no fue solo numérica, sino también consistente y progresiva, alcanzando su punto máximo con la dosificación del 25 %, donde el incremento superó el 40 %

respecto del terreno sin tratamiento. Este resultado revela que la incorporación del RCD aportó una estructura granular interna capaz de resistir mejor los esfuerzos y redistribuir adecuadamente las cargas que una cimentación transfiere al terreno. La cimentación, en consecuencia, encuentra un soporte más confiable, más rígido y menos susceptible a deformaciones. La hipótesis específica queda plenamente confirmada: **los suelos tratados con RCD sí alcanzan una mayor capacidad de carga y ofrecen condiciones óptimas para cimentar en Pumamarca.**

Conclusión 3:

H.E.2. El comportamiento observado en los parámetros de resistencia al corte demostró que el ángulo de fricción interna aumenta notablemente cuando se incorpora RCD al suelo cohesivo. Esta mejora responde a la presencia de partículas angulares y bien graduadas del RCD que generan mayor resistencia al deslizamiento entre partículas. El suelo, que originalmente presentaba un comportamiento suave y dependiente de la cohesión, adquiere una estructura más firme, capaz de trabajar con mayores niveles de fricción. Lo más importante es que este incremento se alinea directamente con la mejora en la capacidad de carga, demostrando que ambos fenómenos están estrechamente vinculados. Este resultado permite afirmar que el suelo tratado se vuelve más estable y resistente, respondiendo de manera favorable a las teorías de Terzaghi y Meyerhof. De esta forma, **la hipótesis específica sobre la mejora del ángulo de fricción interna queda plenamente aceptada.**

Conclusión 4:

H.E.3. Respecto a la cohesión, el estudio mostró un comportamiento particularmente interesante: la cohesión aumentó cuando la dosificación del RCD

se mantuvo dentro de rangos controlados (entre 15 % y 25 %), pero disminuyó de manera significativa al sobrepasar ese límite. Esta respuesta confirma que la cohesión del suelo no depende únicamente de agregar material granuloso, sino de preservar la continuidad de la matriz arcillosa que le da estabilidad. Cuando esa relación se mantiene en equilibrio -como ocurrió con la dosificación óptima del 25 %- la cohesión se ve fortalecida y el suelo muestra un mejor desempeño estructural. Sin embargo, cuando la dosificación alcanza el 30 %, la cohesión disminuye debido a la pérdida excesiva de la matriz cohesiva, evidenciando que existe un punto de equilibrio que no debe sobrepasarse. A pesar de ello, el estudio demuestra claramente que **sí existe una mejora de la cohesión con la incorporación adecuada del RCD**, confirmando plenamente esta hipótesis específica.

VII. Recomendaciones

Luego de concluir el análisis de los suelos cohesivos de Pumamarca y de haber observado cómo el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) transforma profunda y favorablemente su comportamiento mecánico, se recomienda, en primer lugar, que el proceso de estabilización con RCD sea asumido no solo como una técnica de ingeniería, sino como un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social. La dosificación óptima del 25 % identificada en los ensayos no es simplemente un número: es el punto exacto donde el suelo, la técnica y la naturaleza encuentran un equilibrio que permite brindar seguridad a las estructuras y esperanza a una comunidad que espera obras duraderas y confiables. Por ello, se recomienda que en toda intervención futura de cimentación en Pumamarca se priorice esta proporción, aplicando procedimientos de mezcla homogéneos, estrictos controles de compactación y verificaciones constantes durante la ejecución.

Se recomienda realizar el mejoramiento del suelo con RCD manteniendo un contenido de humedad cercano al 7,73 %, ya que este valor favorece una adecuada compactación del material, y contribuye al incremento de las propiedades mecánicas del suelo, como la resistencia y la capacidad carga.

Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance del presente estudio, evaluando el comportamiento del mejoramiento de suelos con RCD en otros tipos de suelo distintos al CL, empleando diferentes tamaños máximos nominales de agregado reciclado y rangos más amplios de contenido de humedad, a fin de contrastar los resultados obtenidos.

Se recomienda también que las entidades públicas y privadas que operen en Pumamarca consideren el uso del RCD como una alternativa estratégica, no solo por sus beneficios técnicos, sino por su impacto económico y ambiental. Los resultados obtenidos demuestran que, al emplearlo correctamente, se reducen los costos de adquisición de agregados, disminuyen los volúmenes de desmonte arrojados en botaderos y se impulsa una cultura de reutilización que honra a la Madre Tierra. En un contexto global donde la sostenibilidad se convierte en una necesidad urgente, es profundamente valioso constatar que la ingeniería puede ser parte activa de la solución.

La presente investigación se ha trabajado con ensayos por auscultación interna con equipo DPL que presenta resultados de precisiones o exactitud no tan adecuadas por lo cual se recomiendan usar métodos más específicos como es el ensayo triaxial para futuras investigaciones.

Finalmente, se recomienda que este estudio sea tomado como un punto de partida para integrar la ingeniería con la sostenibilidad en regiones rurales. Pumamarca, con sus suelos cohesivos, su clima retador y su geografía única, nos enseña que la ingeniería civil no solo construye estructuras, sino también confianza, seguridad y bienestar. Por ello, se insta a que las futuras generaciones de ingenieros continúen investigando, innovando y aplicando tecnologías limpias como el uso del RCD, recordando siempre que, detrás de cada cálculo, hay una comunidad que sueña con un territorio más seguro y un futuro más digno.

VIII. Referencias

- Agustin Saavedra, P. C. (12 de Agosto de 2019). Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de Correlación del ensayo DPL y corte directo para determinar la capacidad portante del tipo de suelo en la localidad de Chazuta-San Martín:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39715>
- Alam. (12 de octubre de 2024). use of construction and demolition waste material for soil stabilization. obtenido de use of construction and demolition waste material for soil Stabilization:
<https://grinrey.com/journals/index.php/rtm/article/view/82>
- Azalte Rodríguez, A. (12 de agosto de 2022). análisis comparativo de la gestión de residuos de construcción y demolición (rcd) en cuatro países latinoamericanos. obtenido de Repositorio de la Universidad del Valle - Colombia:
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/b265505a-4526-42ff-ae81-ee446fca1292>
- Bagriacik. (23 de Junio de 2020). a new experimental approach to the improvement of sandy soils with construction demolition waste and cement. Obtenido de A new experimental approach to the improvement of sandy soils with construction demolition waste and cement:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-05493-6>
- Bernal, C. A. (12 de Junio de 2018). metodología de la investigación. obtenido de metodología de la investigación: <https://es.slideshare.net/anitiux/mtodos-de-investigacin-cesar-augusto-bernal>
- Calderon Díaz, G. E. (12 de Abril de 2020). Análisis de la gestión de los residuos de construcción y demolición en proyectos de construcción. Obtenido de Repositorio de la Universidad :
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5421>
- Carranza Morales, I. F., & Ponce Torres, A. F. (18 de mayo de 2017). repositorio upao. obtenido de estudio de zonificación geotécnica en el sector iii del

centro poblado el milagro para el diseño de cimentaciones superficiales:
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3559>

Casagrande, A. (6 de septiembre de 1981). sistema unificado de clasificación de suelos sucs. Obtenido de sistema unificado de clasificación de suelos sucs:
<https://www.mecanicasuelosabcchile.com/clasificacion-sucs/>

Chavez Lope, W. (09 de Marzo de 2024). Influencia de la adición de residuos de construcción y demolición para la estabilización de subbase en pavimento flexible, Ate, 2024. Obtenido de Influencia de la adición de residuos de construcción y demolición para la estabilización de subbase en pavimento flexible, Ate, 2024:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/165130>

Cotrina Velásquez, J. W. (22 de octubre de 2016). Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de Zonificación geotécnica de los suelos de fundación, mediante el ensayo de corte directo y DPL en la urbanización Los Girasoles - Jaén - 2016:
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1054>

Crus Quintanilla, J. A. (12 de Julio de 2015). Pérdida de energía en la auscultación con Penetrómetro dinámico ligero (DPL). Obtenido de Repositorio - Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.:
https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5133/253_T20150231_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz, J. (15 de Junio de 2017). Estudio de Mecanica de suelos y Mapa de peligros de la ciudad de Ayabaca - Piura. Obtenido de Determinación de la capacidad portante en suelos arenosos y arcillosos en Ayabaca - Piura:
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Piura/ayabaca/ayabaca.pdf

Das, B. M. (2018). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima edición. México D.F.: Data Color Impresores, S.A.

DAS, P. C. (2020). Tópicos de Tecnología del Concreto. en P. C. Enrique, Tópicos de Tecnología del Concreto (pág. 380). Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

- Días, Huaman, & Yabar. (11 de noviembre de 2021). Estabilización de suelo por asentamiento en la quebrada de Saphy. Obtenido de Estabilización de suelo por asentamiento en la quebrada de Saphy:
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/10757/670606/8/Huaman_GA.pdf
- Garrafa Quillo, A., & Huaracha taco, M. L. (13 de mayo de 2022). Estabilización de sub rasante de suelos arcillosos adicioando cenizas de cabuya con cal en 4km vía Poroy - Cusco 2022. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100710>
- GeoStru. (noviembre de 12 de 2023). Estabilidad de Taludes. Obtenido de Estabilidad de Taludes:
<https://www.geostru.eu/es/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/?srsId=AfmBOoq4buEw0SghsnirVM2zmEhAaJSTPj1WLAImdco5x0yhxavFx5WE>
- Gil, H., & Andres, J. (10 de septiembre de 2018). Estudio comparativo del comportamiento mecánico, entre los sistemas de apoyo individual y tipo pantalla, para el reforzamiento de un talud con anclajes. Obtenido de Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64866>
- Gomez Gonzales, Y. A. (16 de octubre de 2019). Evaluación de sistemas de contención mediante el uso de anclajes y pilotes para la estabilización del talud expuesto a socavación, tramo 10+430 a 10+550 de la vía panamericana Norte-Lima. Obtenido de Repositorio Universidad Nacional Federico Villareal: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3857>
- Gonzales G., A. J. (12 de diciembre de 2018). calculo simplificado de capacidad portante. obtenido de calculo simplificado de capacidad portante:
https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf
- Gutierrez Rodriguez, W. Á. (12 de marzo - abril de 2023). Ciencia Latina Internacional. Obtenido de Ensayo granulométrico de los suelos mediante el

método del tamizado: file:///C:/Users/User/Downloads/5834-Texto%20del%20art%C3%ADculo-23077-1-10-20230511.pdf

Huanca Cutipa, B., Flores Terrazas, R., & Mendoza Ramírez, W. (12 de agosto de 2019). Estudio Geotécnico con fines de cimentación para tres asociaciones de vivienda en Tacna. Obtenido de Fondo Editorial - Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, tacna Perú: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/788/841>

Huerta Ayala, O. (2022). La Inscripción de las Habilitaciones Urbanas en el Registro de Predios. 2022: Jurista Editores.

Ibarra, K. A. (12 de abril de 2019). Repositorio Digital Institucional, Universidad Nacional del Comahue. Obtenido de Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/15549?show=full>

Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG. (2023). Ley de Regulación de Habilitaciones Urbanas y Edificaciones. Lima: ICG.

Instituto Mexicano del Transporte. (18 de agosto de 2024). La Importancia de la Estabilización del suelo para la construcción. Obtenido de SAALG GEOMECHANICS: <https://www.saalg.com/post/la-importancia-de-la-estabilizaci%C3%B3n-del-suelo-para-la-construcci%C3%B3n?lang=es>

Jaimes Estupiñan, D. F., & García Caballero, J. J. (12 de agosto de 2023). Importancia del concreto en el campo de la construcción. Obtenido de Revista Formación estratégica: <https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>

Jancco Zapata, G. O., & Puma Olivera, C. (12 de febrero de 2024). Influencia de residuos sólidos de construcción y demolición en las propiedades físico - mecánicas en la subrasante de la trocha carrozable del centro Poblado Qaywa Ccopi, Ccatcca, 2024. Obtenido de Repositorio Universidad Andina del Cusco: <https://repositorio.uandina.edu.pe/item/51fc0fbf-f14d-45aa-b441-f13779e3cbae>

- Jimenez Rosas, P. J. (22 de octubre de 2024). Reintewgración de los RCD como agregado grueso con base al análisis de sus resistencias mecánicas". Obtenido de Repositorio Universidad Autónoma del estado de Morelos - Mexico: <https://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/4338>
- Kelly Jessica, O. V. (10 de octubre de 2019). Estabilización de taludes a través de pernos de anclaje en la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Mollepata - Pallasca. Obtenido de Repositorio Universidad Peruana de los Andes: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1516>
- Ley de Regulación y habilitaciones urbanas y de edificaciones. (12 de marzo de 2024). Ley de regulación y habilitaciones urbanas. Obtenido de Ley de regulación y habilitaciones urbanas: <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29090.pdf>
- Liendo, S. I. (2016). Evaluación de capaciad portante de suelos cohesivos en el proyecto mejoramiento de la transitabilidad peatonal y vehicular en la Avenida Vilcanota del sector de Accosca, distrito de Calca, provincia de Calca. Cusco: Pro&con Silver S.C.R.L.
- López, L., & Pedro. (abril de 16 de 2022). Población, muestra y muestreo. Obtenido de Comunicador Social Docente UCB-Cbba: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- Macuchapi Cayo, R. (17 de agosto de 2019). Repositorio UMSA. Obtenido de Estudio Geológico - geotécnico según la normativa del gobierno autónomo municipal de la paz y norma española: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31990>
- Medina & Rodriguez . (2010). Ensayo de penetracion Dinamica.
- Méndez Álvarez, c. E. (09 de agosto de 2018). Metodología de la Investigación. Obtenido de Metodología de la Investigación: <https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789587786606/Metodolog%C3%ADa+De+La+Investigaci%C3%B3n>

Meyerhof. (1951). The ultimate bearing capacity of foundations. Géotechnique. Artículo.

Municipalidad Provincial de Calca. (12 de octubre de 2017). plan de desarrollo urbano de la ciudad de calca - 2017. Obtenido de Zonificación del suelo rural - Al: <https://municipalcalca.gob.pe/wp-content/uploads/MP-14-zonificacion-del-suelo-rural-en-el-ambito-de-influencia.pdf>

Municipalidad Provincial de Calca. (22 de Julio de 2017). Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia de Calca 2017-2027. Obtenido de PDU 2017 - 2027: <https://tramite-du.web.app/documentos/mapas/pdu-2017-2027-calca.pdf>

Norma ASTM D-1556. (s.f.). Cuarta Edición .

Norma E. 0.50. (2018). Norma E. 0.50, Suelos y cimentaciones.

Oros, M. (12 de enero de 2018). "Estudio geológico y geotécnico para conocer los diferentes parámetros para realizar estudios de estabilidad". Obtenido de Repositorio Institucional del centro de Investigación y desarrollo: <https://repositorio.cidecuador.org/handle/123456789/1372>

Ortiz Yovera, S. C. (12 de noviembre de 2020). Instituto geofísico del Perú. obtenido de estimación de parámetros de resistencia en suelos arenosos empleando el ensayo dpl y su aplicación en los estudios de zonificación sísmica geotécnica - caso catacaos: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/13872_estimacion-de-parametros-de-resistencia-en-los-suelos-arenosos-empleando-el-ensayo-dpl-y-su-aplicacion-en-los-estudios-de-zonificacion-sismica-geotecn.pdf

Paul Alexander, S. Q. (15 de noviembre de 2018). Análisis comparativo de talud y propuesta de solución con muros anclados en la carretera las Pirias – Cajamarca, 2018. Obtenido de Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24588>

Paulina Iveth, V. Z. (10 de agosto de 2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. Obtenido de Metodología de la investigación científica: guía práctica:

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7658/11620#:~:text=En%20el%20campo%20de%20la,la%20investigaci%C3%B3n.%2C%202021>).

Pérez, F. (12 de octubre de 2023). Concreto permeable: Qué es y qué usos tiene esta innovación ecológica. Obtenido de Cementos Torices: <https://cementostorices.com/blog/sostenibilidad/concreto-permeable-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>

questionpro logo. (15 de noviembre de 2023). Procesamiento de datos de investigación: ¿Cómo realizarlo? Obtenido de Procesamiento de datos de investigación: ¿Cómo realizarlo?: <https://www.questionpro.com/blog/es/procesamiento-de-datos-de-investigacion/>

Quispe, J. D. (11 de agosto de 2020). Estabilización de subrasante mediante uso de residuos de construcción y demolición - Jirón Amazonas Distrito de Chilca. Obtenido de Estabilización de subrasante mediante uso de residuos de construcción y demolición - Jirón Amazonas Distrito de Chilca: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7291>

Salamanca Medina, E. L., & López Dominguez, J. J. (22 de noviembre de 2021). ensayo de penetración dinámica súper pesada (dpsH): equivalencia. Obtenido de Dynamic Probing Super Heavy (DPSH): Equivalence for the Standard Penetration: [file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-EnsayoDePenetracionDinamicaSuperPesadaDPSH-8648877%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-EnsayoDePenetracionDinamicaSuperPesadaDPSH-8648877%20(1).pdf)

Sancho, S. (15 de Agosto de 2018). Metodología para efectuar ensayos de adherencia en barras de anclaje empleadas para la estabilización de taludes en suelos no cohesivos. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28623>

Sierra Peña, J. J. (04 de agosto de 2020). Escuela colombiana de ingeniería julio garavito. obtenido de Capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos parcialmente saturados: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1238/Sierra%20>

Pe%C3%B1a%2C%20Johan%20Javier-
2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Souza. (12 de mayo de 2024). Effect of the Incorporation of Recycled Aggregate from Construction and Demolition Waste on the Mechanical Strength of Silty-Cement Soil. Obtenido de Effect of the Incorporation of Recycled Aggregate from Construction and Demolition Waste on the Mechanical Strength of Silty-Cement Soil: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40999-024-00951-8>
- Tasayco Munayco, M. (22 de mayo de 2019). Evaluación de las propiedades del concreto reforzado ($F_c=210 \text{ kg/cm}^2$) con fibra de caña de azúcar y desecho del fruto de coco en una edificación, Puente Piedra, Lima 2019). Obtenido de Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58063>
- Terán, R. (12 de octubre de 2020). Proyecto de estabilización de talud mediante el uso de pantalla atirantada con anclajes activos tipo barra en el sector Santa Ana (abscisa 0+060+0+100) . Obtenido de Repositorio: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10421/1/IV_FIN_105_TE_Pari_Eugenio_2021.pdf
- Terzaghi & Peck . (1967). Resistencia a la cohesion, analisis y ensayo de suelo.
- Terzaghi. (1943). Mecanica de Suelos en La Ingenieria . Mexico: E I ateneo S.A.
- Ulate, A. (Julio de 06 de 2020). Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales. Obtenido de Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales: <https://bloglanammeucr.wordpress.com/2020/07/06/que-es-y-como-se-utiliza-el-cono-de-penetracion-dinamico/>
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (12 de Octubre de 2022). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, arámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Obtenido de Revista Civilizate N° 7: [file:///C:/Users/User/Downloads/16157-Texto%20del%20art%C3%ADculo-64206-2-10-20170328%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/16157-Texto%20del%20art%C3%ADculo-64206-2-10-20170328%20(3).pdf)

Víctor, Y. P. (12 de marzo de 2021). Ensayo de carga de placa. Obtenido de Blogs ensayo de carga de placa: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

Vizcarra, & Paredes. (11 de agosto de 2024). Influencia por adición de residuos de construcción y demolición en propiedades físico-mecánicas de suelos en la provincia de Ilo. Obtenido de Influencia por adición de residuos de construcción y demolición en propiedades físico-mecánicas de suelos en la provincia de Ilo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/147101>

Yanapa Mamani, E. A., & Aquisé Calloapaza, J. C. (14 de Julio de 2018). “Zonificación Geotécnica y capacidad portante para cimentaciones Superficiales en la Zona Noroeste de la Ciudad de Juliaca”. Obtenido de “Zonificación Geotécnica y capacidad portante para cimentaciones Superficiales en la Zona Noroeste de la Ciudad de Juliaca”: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_54cab664030a8d8db993616781083e96

Zavaleta Benites, G. M., & Sánchez, A. (12 de marzo de 2019). Estabilidad de suelos con residuos de la construcción y demolición al 75% con fines de cimentación en la Urbanización Villa las Praderas - Nuevo Chimbote. Obtenido de Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70319>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes