

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del
suelo arcilloso de la subrasante
prolongación Wiracocha, distrito de Sicuani-Cusco
mediante el uso de cemento Portland Tipo IP**

**Griford Nicanor Mendoza Rios
Willy Donnie Soncco Puma**

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Verónica Isumi Cordoni Jara
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 15 de marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE PROLONGACIÓN WIRACocha DISTRITO DE SICUANI-CUSCO, MEDIANTE EL USO DE CEMENTO PORTLAND TIPO IP"

Autores:

1. Griford Nicanor Mendoza Rios – EAP. Ingeniería Civil
2. Willy Donnie Soncco Puma – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | | | |
|---|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI | ☒ | NO | ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores | SI | ☒ | NO | ☐ |
| Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15 | | | | |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI | ☐ | NO | ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

Agradecimiento

Profunda gratitud a todos aquellos que contribuyeron a la culminación de esta tesis, en especial a la colaboración experta de nuestra asesora Mgtr. Verónica Isumi, que mediante sus enseñanzas y comentarios se pudo alcanzar los objetivos de este trabajo.

También, a nuestros compañeros de clase, con quienes compartimos ideas, conocimientos y experiencias que formaron la base de nuestra propuesta y aportaron en el desarrollo de esta tesis.

A nuestras familias y amigos, quienes nos impulsaron a cumplir esta meta y nos acompañaron durante nuestra etapa de formación profesional. A Dios por darles salud y ser nuestra fortaleza durante tiempos difíciles, por ser nuestro ejemplo de sacrificio y amor.

Por último, agradecer a la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, por darnos la oportunidad de adquirir conocimientos, formarnos en valores y ser parte de una comunidad de profesionales con amplia experiencia en el rubro.

Este logro es un reflejo del esfuerzo conjunto de todos los que nos acompañaron en este camino, y estamos infinitamente agradecidos por ello.

Dedicatoria

En primer lugar, al Ser Supremo, por haber sido mi guía y me ha dado fortaleza para perseverar en mis propósitos.

A mis padres, que me apoyaron incondicionalmente y me inspiraron a ser mejor persona y profesional cada día, me dieron unos hermanos maravillosos que me motivaron a seguir mis metas y me acompañaron en todos estos años.

A los docentes que fueron parte de mi formación académica y me dieron todas las herramientas que me permitieron llegar hasta este momento.

Soncco Puma, Willy Donnie

Dedicatoria

A mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. Gracias por el amor, paciencia y por siempre creer en mí. Esta tesis está dedicada a ustedes, como un pequeño gesto de gratitud por ser mi motor y guía en cada paso que doy.

A mis hermanos, por compartir risas, desafíos y momentos inolvidables. la amistad y aliento han sido fundamentales para alcanzar esta meta y para seguir adelante en cada desafío que se presenta.

A mis amigos y amigas, por sus palabras de aliento, por acompañarme en cada etapa del camino y por llenar de alegría mis días. Gracias por ser una red de apoyo inquebrantable.

A todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a este logro, mi eterno agradecimiento.

Mendoza Rios, Griford N.

Índice.

Agradecimiento	i
Dedicatoria.....	ii
Dedicatoria.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción	xvi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Justificación e Importancia	5
1.4.1. Económica.....	5
1.4.2. Ambiental	6
1.4.3. Teórica.....	6
1.4.4. Práctica	6
1.4.5. Metodológico	7
1.4.6. Importancia.....	8
1.5. Delimitación del Trabajo de Investigación	8
1.5.1. Delimitación Conceptual.....	8

1.5.2. Delimitación Espacial	8
1.5.3. Delimitación Temporal	8
1.6. Hipótesis y Variables.	9
1.6.1. Hipótesis General	9
1.6.2. Hipótesis Específicas.....	9
1.6.3. Variables Independiente:.....	9
1.6.4. Variable Dependiente:.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes Internacionales.	10
2.2. Antecedentes Nacionales.	14
2.3. Marco Conceptual.....	18
2.3.1. Suelo	18
2.3.2. Los Suelos y la Clasificación.....	18
2.3.3. Suelos Arcillosos o Finos	19
2.3.4. Suelos Granulares	20
Si hablamos de suelos granulares, podemos distinguir diferentes tipos:.....	21
2.3.5. Gravas.....	21
2.3.6. Arena	21
2.3.7. Composición del Suelo	21
2.3.8. Análisis Granulométrico	22
2.3.9. Contenido de humedad	23
2.3.10. Estados de Consistencia.....	25
2.3.11. Límite Líquido.....	25
2.3.12. Límite Plástico e Índice de Plasticidad.....	27
2.3.13. Compactación del Suelo	29
2.3.14. Ensayo de Proctor Modificado	30
2.3.15. Capacidad de Soporte del Suelo	33

2.3.16. Procedimiento del Ensayo de CBR	35
2.4. Bases Teóricas.....	37
2.4.1. Arcilla.	37
2.4.2. Subrasante.....	37
2.4.3. Cemento Portland.	37
2.4.4. Tipos de Cemento Portland.	38
2.4.5. Cemento Portland Tipo I.	39
2.4.6. Estabilización de Suelos.	40
2.4.7. Clasificación de los Métodos de Estabilización de Suelos.....	40
2.4.8. Estabilización con Cemento.	41
2.4.9. Dosificación del Cemento	41
2.4.10. Estabilización con Cal	42
2.4.11. Estabilización con Escoria.....	45
2.4.12. Estabilización con Cloruro de Sodio.	45
2.4.13. Estabilización con Cloruro de Calcio (CaCl ₂).	47
2.4.14. Estabilización con Cloruro de Magnesio.....	47
2.4.15. Estabilización de Suelos con Cemento.....	47
2.4.16. Propiedades de los Suelos Estabilizados con Cemento.....	48
2.4.17. Propiedades de un Suelo Modificado con Cemento.....	50
2.4.18. Ensayos de Mecánica de Suelos.	51
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	53
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	53
3.2. Población y Muestra.....	54
3.2.1. Población de Estudio.	54
3.2.2. Muestra.	55
3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	57
3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos.....	59

3.2.5. Recolección de los Datos.....	60
3.2.6. Toma de Datos.....	61
3.2.7. Validez.....	64
3.2.8. Confiabilidad.	64
3.2.9. Aspectos Éticos.....	65
3.3. Métodos de análisis de datos.....	68
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
4.1. Localización del Área de Estudio.....	90
4.1.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información.....	91
4.1.2. Ensayos Realizados “In Situ”.	92
4.1.3. Extracción de Muestras Representativas.	92
4.1.4. Estrato de Apoyo del Afirmado.....	93
4.1.5. Parámetros Obtenidos IN SITU.....	94
4.1.6. Clasificación del Suelo de la Subrasante.....	94
4.1.7. Índice de Grupo (GI)	96
4.1.8. Nivel Freático.	97
4.1.9. Prueba de Hipótesis.	112
4.2. Discusión de Resultados.....	113
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	117
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES	118
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	119
ANEXOS.....	124
Anexo N° 01: Matriz de Consistencia.....	124
Anexo N° 02: Matriz de Operacionalización	126
Anexo N°03: Ensayos de Laboratorio.....	128
.....	135

Anexo N° 02: Análisis granulométrico por tamizado Muestra Patrón – NORMA	
NTP – 339.128	144

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación de la prolongación Wiracocha.	3
Figura 2. Ilustración de arcilla y sus características	20
Figura 3. Fases del suelo	22
Figura 4. Ilustración de ensayo Granulométrico.....	22
Figura 5 Ilustración Contenido de Humedad del Suelo.....	24
Figura 6. Límites de Consistencia del Suelo.	25
Figura 7. Límite Líquido	26
Figura 8. Curva del contenido de humedad y número de golpes.....	27
Figura 9. Ensayo de Límite Plástico	28
Figura 10. Curva de compactación obtenida con el ensayo Proctor.....	29
Figura 11. Instrumentos para la elaboración del ensayo Próctor.....	31
Figura 12. Características de los instrumentos para realizar el ensayo de CBR.....	35
Figura 13. Ensayo de CBR.....	36
Figura 14. Exploración y extracción de muestras de suelo arcilloso	66
Figura 15. Muestras Representativas.....	70
Figura 16. Procesamiento de muestras.....	71
Figura 17. Contenido De Humedad	74
Figura 18 Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas	77
Figura 19. Método de prueba estándar para Limite Liquido, limite plástico e índice de plasticidad.....	79
Figura 20. Método de prueba estándar para límite líquido, plástico e índice de plasticidad.....	82
Figura 21. Método de Prueba Estándar para California Bering Ratio (CBR).....	89
Figura 22. Vista de la Zona en Estudio.....	90
Figura 23. Resultados del ensayo de granulometría C -1.....	91
Figura 24. Nivel freático encontrado en calicatas.....	98
Figura 25. Cilindros con 3%, 6% y 9% de cemento adicionado.	100
Figura 26. Ensayos de resistencia a la compresión.....	100
Figura 27. Ensayos de resistencia a compresión en laboratorio.....	101
Figura 28. Resultados de resistencia a compresión.....	101
Figura 29. Ensayos a resistencia a compresión.....	102

Figura 30. Ensayos a resistencia a la compresión.....	103
Figura 31. Ensayos realizados en laboratorio.....	103
Figura 32. Resistencia a la Compresión vs % de Adición	104
Figura 33 Análisis de gráficos comparativos	105
Figura 34. Resultado límite plástico y número de golpes	107
Figura 35. Determinación CBR	108
Figura 36 Resultados de la densidad máxima seca en el ensayo Proctor	108
Figura 37. Coeficientes estandarizados	110
Figura 38. Distribución de resultados.	111
Figura 39. Umbral de aceptación.	111

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Cálculo de Energía de Compactación.	29
Ecuación 2. Cálculo para obtención del CBR	33
Ecuación 3. Cálculo Cambio iónico	46
Ecuación 4. Cálculo Van der Waals.	46
Ecuación 5. Cálculo de Humedad.....	73
Ecuación 6. Cálculo para determinar el % acumulado.....	76
Ecuación 7. Cálculo de Índice de Plasticidad	81
Ecuación 8. Adición del % de agua.	88
Ecuación 9. Cálculo de Índice de Grupo.	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los suelos según la Metodología SUCS.....	19
Tabla 2. Comparación de los sistemas de clasificación SUCS y AASTHO.....	19
Tabla 3. Tamaño de las partículas según el tipo de material.	23
Tabla 4. Clasificación del Índice Plástico.....	28
Tabla 5. Clasificación de la subrasante en función al CBR.....	34
Tabla 6. Tipos y características del cemento.	38
Tabla 7. Tipos de Suelo y el porcentaje de adición.	42
Tabla 8. Número de repeticiones de los ensayos para la investigación.....	56
Tabla 9. Propiedades de la Muestra Patrón	56
Tabla 10. Clasificación e Identificación del suelo Arcilloso ligero Arenoso más desfavorable.....	58
Tabla 11. Ensayos de laboratorio para suelo arcilloso ligero arenoso más desfavorable.....	59
Tabla 12. Formato de Muestras.	61
Tabla 13. Toma de Datos.....	61
Tabla 14. Contenido de Humedad Natural.....	62
Tabla 15. Contenido Límite Líquido.....	62
Tabla 16. Contenido Límite Plástico.	63
Tabla 17. Rango de Validez.....	64
Tabla 18. Rangos de Confiabilidad.....	65
Tabla 19. Ensayos de Mecánica de Suelos Necesarios.	68
Tabla 20. Ensayos a realizar en la investigación.....	69
Tabla 21. Dimensiones de Tamices	75
Tabla 22. Penetración	88
Tabla 23. Curva Granulométrica	91
Tabla 24. Procedimientos de extracción de muestras	92
Tabla 25. Perfil de suelos de las Calicatas realizadas in situ.....	93
Tabla 26. Parámetros obtenidos in situ.....	94
Tabla 27. Características Físicas del Suelo.....	94
Tabla 28. Resultados del índice de plasticidad con la adición de 3, 6 y 9 % de cemento portland tipo IP en Ca - 02.....	98

Tabla 29. Resultados de los ensayos a compresión realizados a las muestras.....	98
Tabla 30. Regresión de la variable $f'c$	104
Tabla 31. Resultados del límite líquido	106
Tabla 32. Resultados del límite plástico.....	107
Tabla 33 Ecuación del Modelo $f'c$	109
Tabla 34. Coeficientes estandarizados	109
Tabla 35. Prueba de hipótesis.	112

Resumen

El propósito de esta investigación es determinar el comportamiento físico-mecánico del suelo en la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP que muestra un porcentaje de 3%, 6% y 9%. Entonces, se implementó un análisis profundo del suelo para evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo de tipo arcilloso arenoso ubicado en el área de investigación. Posteriormente, se aplicará el Cemento Portland en porcentajes del 3%, 6% y 9% del peso seco de la muestra de suelo. Los resultados de laboratorio indicarán las variaciones óptimas en el Índice de Plasticidad y el Índice CBR. En total, se recopilaron 12 muestras de concreto. En relación directa con el aumento de adición de cemento, la resistencia a la compresión también puede lograda incrementar. Entonces, las muestras con un 0% de adición de cemento tienen una resistencia a la compresión promedio de alrededor de 6.9 MPa, mientras que las muestras con un 9% de adición de cemento tienen una resistencia promedio de alrededor de 28.6 MPa. En conclusión, la investigación evidencia que la adición de Cemento Portland Tipo IP al suelo arcilloso de la subrasante mejora notablemente sus propiedades físico-mecánicas. Con el incremento del porcentaje de cemento al 3%, 6%, y 9%, se observó una mejora significativa en la resistencia a la compresión, que revela una optimización sustancial en el comportamiento mecánico del suelo. Este resultado confirma la efectividad del uso de Cemento Portland Tipo IP para optimizar las propiedades del suelo de la subrasante, logrando así el objetivo general de la investigación.

Palabras clave: subrasante, Cemento Portland, propiedades físico-mecánica

Abstract

The purpose of this research is to determine the physical-mechanical behavior of the soil in the subgrade of the Wiracocha extension of the District of Sicuani of the Province of Cusco by adding Portland cement type IP that shows a percentage of 3%, 6% and 9%. Then, a thorough soil analysis was implemented to evaluate the physical-mechanical properties of the sandy clay type soil located in the research area. Subsequently, Portland Cement will be applied in percentages of 3%, 6% and 9% of the dry weight of the soil sample. The laboratory results will indicate the optimal variations in the Plasticity Index and the CBR Index. In total, 12 concrete samples were collected. In direct relation to the increase in cement addition, the compressive strength can also be increased. Thus, samples with 0% cement addition have an average compressive strength of around 6.9 MPa, while samples with 9% cement addition have an average strength of around 28.6 MPa. In conclusion, the research shows that the addition of Portland Cement Type IP to the clay soil of the subgrade significantly improves its physical-mechanical properties. With the increase in the percentage of cement to 3%, 6%, and 9%, a significant improvement in compressive strength was observed, which reveals a substantial optimization in the mechanical behavior of the soil. This result confirms the effectiveness of using Portland Cement Type IP to optimize the properties of the subgrade soil, thus achieving the general objective of the research.

Keywords: subgrade, Portland cement, physical-mechanical properties

Introducción

En la presente investigación se analiza el caso de un suelo arcilloso ligero arenoso con nivel freático alto, comúnmente encontrado en regiones montañosas y específicamente en la zona en estudio, este tipo de suelo no ofrece las características adecuadas Con el propósito de servir como fundamento para la construcción de un pavimento. resistente al tráfico pesado. Por lo tanto, se requiere mejorarlo mediante diversas técnicas.

"Las características intrínsecas de los suelos arcillosos ligeros arenosos con presencia de nivel freático alto, comunes en la región serrana y específicamente en la vía objeto de estudio, presentan limitaciones para la conformación de una subrasante óptima que soporte un pavimento sometido a tráfico pesado. En consecuencia, se requiere la implementación de técnicas de mejoramiento que optimicen la capacidad portante." (1)

En este caso la propuesta se basa en evaluar la influencia del Cemento Portland tipo IP, como agente estabilizador para este tipo de suelos a través de determinados porcentajes. El presente estudio tiene como objetivo evaluar las propiedades físico-mecánicas del suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani en la Provincia del Cusco. Este análisis se lleva a cabo mediante la incorporación de diferentes porcentajes de cemento Portland tipo IP, específicamente 3%, 6%, y 9%. el estudio se centra en examinar cómo la adición de cemento Portland tipo IP en diferentes cantidades afecta las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante, con un enfoque particular en la resistencia a la compresión y la capacidad de carga, en el contexto de la prolongación Wiracocha. Para lograr el objetivo general de la presente investigación se realizaron los ensayos para determinar, evaluar y analizar la influencia de los porcentajes añadidos del 3%, 6% y 9% de cemento portland

Tipo IP en la estabilización del suelo de la sub rasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco, los cuales son descritos en el capítulo I de la presente investigación.

En el capítulo II se desarrolló el marco teórico pertinente para lograr los objetivos de la investigación planteada, dentro de las cuales se establecen las metodologías, procesos y ensayos a tomarse en consideración. En el capítulo III se describe la metodología aplicada para la investigación, así como la determinación de la población siendo esta la sub rasante de la Av. Wiracocha y las muestras correspondientes para la investigación además se detalla el tipo de investigación el cual es cuasiexperimental con finalidad aplicada. Por otro lado, en el capítulo IV se describen los resultados obtenidos y la discusión correspondiente a la investigación en relación a los objetivos y en contraste con los resultados que presentan en los antecedentes, según los resultados y análisis correspondiente se procedió a desarrollar las conclusiones la matriz de correlaciones proporciona información sobre la relación entre dos variables. En este caso, los valores de correlación son 1 para la relación entre el porcentaje de adición de cemento y sí mismo, y 0.936 para la relación entre la resistencia a la compresión.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

A nivel internacional, la adaptación de tecnologías de estabilización del suelo a las especificidades locales, la optimización de los recursos materiales frente a las limitaciones económicas, y la mitigación del impacto ambiental derivado de la producción y uso de cemento son desafíos críticos. Estos aspectos subrayan la necesidad de una investigación multidisciplinaria y la colaboración internacional para desarrollar metodologías que no solo sean efectivas desde el punto de vista técnico, sino también sostenibles amigables con el entorno y responsables con las comunidades locales. La complejidad de estos problemas requiere un enfoque integrado que contemple las dimensiones técnicas, ambiental, y socioeconómica las iniciativas para construir y modernizar infraestructuras.

En Latinoamérica, la problemática de mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante, como en el caso de la prolongación Wiracocha en el distrito de Sicuani-Cusco mediante el uso de Cemento Portland Tipo IP, refleja desafíos específicos derivados de la diversidad geográfica, las limitaciones económicas y las preocupaciones ambientales de la región. La aplicación de técnicas de estabilización del suelo enfrenta obstáculos como la variabilidad de las condiciones geotécnicas a lo largo del continente, la accesibilidad y el coste de los materiales de construcción, así como la necesidad de adaptar las soluciones técnicas a las realidades socioeconómicas y culturales locales. Estos retos subrayan la importancia de desarrollar enfoques integrados que consideren no solo la eficacia técnica, sino también la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de los proyectos de infraestructura. El mejoramiento de suelos en Latinoamérica demanda, por tanto, un esfuerzo

colaborativo y multidisciplinario para generar conocimiento aplicable y prácticas innovadoras que respondan a sus necesidades específicas.

La realidad problemática peruana en torno al mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante, especialmente en proyectos como la prolongación Wiracocha en el distrito de Sicuani, Cusco, utilizando cemento Portland Tipo IP, destaca por enfrentar retos singulares asociados a la complejidad geográfica, económica y social del país. La variabilidad de las condiciones geotécnicas a lo largo del territorio peruano exige soluciones de ingeniería adaptadas a cada contexto específico, mientras que las restricciones presupuestarias y la necesidad de minimizar el impacto ambiental plantean desafíos adicionales. La estabilización de suelos arcillosos con cemento en Perú resalta la urgencia de implementar prácticas innovadoras y sostenibles que aseguren la durabilidad de la infraestructura frente a eventos climáticos extremos y la erosión, en un marco de desarrollo que beneficie a las comunidades locales y respete el medio ambiente. Este enfoque requiere de una colaboración multidisciplinaria que integre conocimientos técnicos, ambientales y sociales, subrayando la importancia de la investigación aplicada y la innovación en el campo de la ingeniería civil en el Perú.

En el distrito de Sicuani, Cusco, el proyecto de mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante en la prolongación Wiracocha enfrenta desafíos significativos debido a la ubicación en una zona de alta densidad poblacional y la composición estratigráfica predominantemente de arcilla arenosa con escasa presencia de gravas. Esta situación se complica aún más por la baja resistencia a la compresión y la pronunciada tendencia a la deformación del suelo, representando un obstáculo considerable para el desarrollo de infraestructura vial robusta y durable. La falta de pavimentación actual limita severamente la transitabilidad vehicular, afectando

tanto la conectividad local como la calidad de vida de los residentes. Estos factores subrayan la necesidad urgente de implementar soluciones de ingeniería civil que no solo mejoren las condiciones del suelo, sino que también consideren las implicaciones sociales y económicas del proyecto. La Figura 1 se muestra la ubicación exacta del trabajo de investigación.

Figura 1

Ubicación de la prolongación Wiracocha.



Nota: El grafico representa imágenes de la prolongación Wiracocha desde *Google Earth*.

Por otro lado, la problemática de los suelos limosos y arcillosos en Perú, que naturalmente no son aptos para la construcción, resalta la importancia de técnicas especializadas como el uso de Cemento Portland Tipo IP para la estabilización de la subrasante. Las características específicas de estos suelos, incluyendo el tamaño de grano, la plasticidad y la capacidad portante, requieren consideraciones detalladas para garantizar la integridad estructural y la sostenibilidad de las obras civiles. Los efectos negativos de estos tipos de suelos sobre las edificaciones, tales como cambios volumétricos y alteraciones de estado provocados por el contacto con el agua, exigen una atención meticulosa a las metodologías de mejora del suelo. El compromiso con la investigación y la aplicación de tecnologías avanzadas en el campo de la ingeniería civil

se vuelve crucial para superar estos retos, asegurando así el éxito de proyectos vitales para el desarrollo y la seguridad de las comunidades en Sicuani y más allá.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el comportamiento físico-mecánico del suelo en la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP al 3%,6% y 9%?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles serán los resultados obtenidos al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco?
- b) ¿Cuáles serán los resultados obtenidos al añadir 3%,6% y 9% de cemento portland Tipo IP en la capacidad portante del suelo de subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco?
- c) ¿Cuáles serán el porcentaje de adición más óptima para estabilizar el suelo de la sub rasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento físico-mecánico del suelo en la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP al 3%,6% y 9%

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la resistencia a la compresión simple del suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%.
- b) Evaluar la capacidad portante del suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%.
- c) Analizar la estabilización del suelo de la sub rasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%.

1.4. Justificación e Importancia

Dados los antecedentes del subsuelo en el área, es importante comprender y evaluar los problemas de estudio del tipo de suelo propuesto, y el uso de cemento para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos arenosos cohesivos ligeros. Además de los beneficios financieros de la sustentabilidad, los profesionales encargados de formular y ejecutar proyectos de pavimentación cuentan con información suficiente para diseñar y tomar precauciones para proteger la inversión.

1.4.1. Económica

La ventaja reside en que el uso parcial de este material (cemento) abarataría las obras, ya de por sí económicas. Además, es crucial promover propuestas que mejoren la red vial de nuestra sociedad. Esta iniciativa sentará las bases para los futuros proyectos de investigación de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Continental.

1.4.2. Ambiental

Garantizar la longevidad de una carretera a través de un diseño de calidad tiene grandes beneficios debido a que el proceso de construcción en cualquier proyecto provoca en mayor o menor medida daños ambientales, por generación de polvo, generación de residuos, contaminación acústica, cemento. contaminación por polvo y peor, contaminación por asfalto etc.

1.4.3. Teórica

La justificación teórica reside en la exploración y aplicación de principios fundamentales de la ingeniería geotécnica y la química del cemento para abordar desafíos específicos de la construcción en suelos problemáticos. Este trabajo se fundamenta en la teoría que sostiene que la estabilización del suelo con cemento puede mejorar sustancialmente la capacidad de carga, reducir la compresibilidad y aumentar la resistencia de los suelos arcillosos al corte, siendo crucial para el desarrollo de infraestructura sostenible y resiliente. Al aplicar Cemento Portland Tipo IP, conocido por sus propiedades hidráulicas y la menor impacto ambiental en comparación con otros tipos de cemento, este estudio no solo valida teorías existentes sobre la estabilización de suelos, sino que también amplía el conocimiento teórico mediante la evaluación de la efectividad en condiciones locales específicas. Este aporte teórico es vital para la ingeniería civil, ya que proporciona una base sólida para futuras investigaciones y prácticas de construcción que buscan optimizar el uso de materiales y técnicas en la mejora de suelos, destacando la importancia de adaptar las soluciones de ingeniería a las características geotécnicas y ambientales particulares de cada región.

1.4.4. Práctica

La justificación práctica radica en la urgente necesidad de optimizar la infraestructura vial en regiones afectadas por problemas de suelos de baja calidad, que

comprometen la seguridad y eficiencia del transporte. La implementación de esta técnica de mejora del suelo ofrece una solución concreta para superar los desafíos asociados con la subrasante arcillosa, que suele ser susceptible a la deformación y el hundimiento bajo cargas vehiculares, provocando deterioro prematuro de las carreteras y aumentando los costos de mantenimiento. Al mejorar las propiedades del suelo, no solo se extiende la vida útil de la infraestructura vial, sino que también se contribuye a la reducción de los costos operativos y de reparación, asegurando una vía de comunicación eficiente y duradera que es vital para el desarrollo económico y social de la región. Además, este enfoque práctico facilita la aplicación de tecnologías de construcción sostenible, promoviendo el uso eficiente de recursos locales y mejorando la resiliencia de las carreteras frente a las variaciones climáticas y el tráfico pesado, resultando esencial para el progreso y bienestar de las comunidades afectadas.

1.4.5. Metodológico

La justificación metodológica se basa en la aplicación de una metodología experimental rigurosa, esencial para evaluar de manera efectiva el impacto del Cemento Portland Tipo IP en las características del suelo en estudio. Este enfoque permite una observación directa y cuantificable de las mejoras en la resistencia, compresibilidad, y otros parámetros físico-mecánicos relevantes del suelo tras la incorporación del cemento. La metodología experimental se diseñó para simular condiciones realistas de campo, garantizando así que los resultados sean directamente aplicables y representativos de las mejoras esperadas en la subrasante. La selección del Cemento Portland Tipo IP como agente estabilizador se fundamenta en la probada eficacia para incrementar la cohesión y capacidad de carga del suelo, siendo una solución práctica y eficiente para los desafíos específicos presentados por los suelos arcillosos. La ejecución de ensayos de laboratorio, seguida de pruebas de campo para validar los

resultados obtenidos, subraya el compromiso con una aproximación metodológica sólida que asegura la fiabilidad y la relevancia de las conclusiones, facilitando así una base científica para la implementación de técnicas de mejoramiento de suelos en la región y más allá.

1.4.6. Importancia

Este trabajo de investigación se efectuó en la prolongación Wiracocha distrito de Sicuani departamento del Cusco, se llevó a cabo una experimentación para evaluar la problemática presente en el mencionado lugar, proponiendo a si la mejora de la subrasante de dicha prolongación con la adición de cemento al 3%, 6 %, 9 %, y de esa manera ver cambios en sus propiedades físico – mecánica del suelo arcilloso.

1.5. Delimitación del Trabajo de Investigación

1.5.1. Delimitación Conceptual

Este estudio se fundamenta en las normas y teorías en referencia de estabilización de suelos y subrasantes, haciendo documentos clave tomando como referencia documentos clave como el Manual de Carreteras MC – 05 – 14 (sección Suelos y Pavimentos) y el Manual de Ensayo de Materiales MC- 06- 16, posteriormente analizar la influencia y la correlación entre la dosificación del cemento portland tipo IP, y el grado de estabilización alcanzado en la subrasante de suelo arcilloso.

1.5.2. Delimitación Espacial

Este trabajo de investigación se realizó en el departamento del Cusco, distrito de Sicuani específicamente en la prolongación Wiracocha.

1.5.3. Delimitación Temporal

Para el desarrollo de esta investigación toda la información fue recopilada desde el año 2022, siendo el tiempo de estudio desde el 2023 hasta el presente año junio 2024.

1.6. Hipótesis y Variables

1.6.1. Hipótesis General

La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente sus propiedades físico-mecánicas.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a) La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la resistencia a compresión simple.
- b) La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la capacidad portante.
- c) La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la estabilización.

1.6.3. Variables Independiente:

Adición de Cemento Portland tipo IP.

1.6.4. Variable Dependiente:

Comportamiento Físico-Mecánico del Suelo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Internacionales

Alzate en el trabajo titulado “Mejoramiento de subrasante en vías de tercer orden” “Mejoramiento de la Subrasante en vías de Tercer Orden” (1), entregada a la Universidad Libre Seccional Pereira que se encuentra en Colombia para la estudio. De lo cual la **propósito** principal radica al poner a prueba el cemento en la rol de estabilizador en la capa de subrasante de la vía Llano Grande, ubicada en el municipio de Pereira, Risaralda. La **metodología** fue cuasiexperimental, con un enfoque descriptivo y cuantitativo para evaluar la estabilización de suelos mediante la adición de cemento. Los **resultados** revelaron un aumento notable en la capacidad portante de los estratos intervenidos, superando el 100% tras la incorporación del 13% de cemento. El análisis evidenció que el contenido de humedad óptimo para la estabilización variaba según la ubicación y profundidad del estrato. Para optimizar la eficiencia del proceso, realizaron ensayos de resistencia a la compresión no confinada, determinando que la dosificación óptima de cemento era del 13%. Considerando el alto contenido de humedad del suelo, en cuanto al tratamiento previo con cal viva (1%) para reducir la humedad entre un 5% y un 7%, complementado con un proceso de aireación, tal como lo recomiendan Jofré y Kramer en la manual de estabilización de suelos. Este procedimiento, según el estudio, garantiza el éxito de la estabilización con cemento.

Gavilanes en la tesis “Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal y Cemento Para Una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur” (2), presentada ante Universidad Internacional del Ecuador, enmarcado en el **objetivo** demostrar la adición de cal y cemento, en diferentes proporciones, influye en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de Santos Pampa, en Colinas del Sur. El

objetivo es optimizar la plasticidad del material de la subrasante para mejorar la construcción de la vía, a través de la observación, la mejora en la resistencia del suelo natural al ser tratado con aditivos, medida a través del CBR (California Bearing Ratio). Parte de la premisa de que el terreno natural, inicialmente inadecuado para soportar cargas, experimenta un aumento significativo en la capacidad portante tras la adición de estabilizantes, siendo a la vez un diseño de pavimento más económico. **Concluye** que la estabilización con cemento se presenta como una técnica eficaz para mejorar las propiedades del suelo y optimizar los costos de construcción. Al fortalecer el suelo, permite reducir el espesor de las capas de pavimento, convirtiéndose en un ahorro significativo. Esta técnica resulta especialmente beneficiosa en suelos granulares y blandos de baja plasticidad, maximizando la capacidad de soporte de cargas. Cabe destacar que la selección del material estabilizante depende de la naturaleza del suelo.

García en la tesis “Estudio de la Técnica de Suelo-Cemento para la Estabilización de Vías Terciarias en Colombia que posean un alto Contenido de Caolín” (3), que fue presentada ante la Universidad Católica de Colombia, tuvo **objetivo** de esta investigación fue analizar la respuesta a la carga monotónica de una mezcla suelo-cemento en condiciones de laboratorio para determinar la resistencia de un suelo fino tipo caolín al ser modificado con cemento. La adición de cemento y agua, junto con una compactación adecuada, permitirá mejorar las propiedades físicas del suelo, incrementando la resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

Cerdeño en el trabajo de grado titulado "Investigación de la Estabilización de Suelos con Enzima Aplicado a la subrasante de la Avenida Quitumbe - Ñan, Cantón Quito" (4), buscó optimizar las propiedades físico-mecánicas de suelos limosos o arcillosos en la construcción de carreteras mediante la aplicación de un estabilizante de suelo de origen orgánico a base de enzimas. Para la **metodología** a lo largo del

desarrollo de esta investigación, prepararon varios especímenes que fueron sometidos a pruebas de carga monotónica, incluyendo ensayos de resistencia a la compresión confinada y tracción indirecta. El propósito de estos ensayos fue analizar el efecto de diferentes porcentajes de cemento en el comportamiento mecánico de una mezcla de suelo. Los **resultados** obtenidos muestran una notable variación en la capacidad de soporte del suelo. En la estado natural, sin modificaciones, el suelo presenta un valor CBR del 9.5%. Sin embargo, al incorporar una concentración de cemento como aditivo, observó un incremento significativo en la resistencia a la compresión simple sin confinar, alcanzando un valor máximo de 30Kg/cm^2 al compactar el suelo con una humedad óptima del 19%, determinó que la resistencia máxima a la compresión simple sin confinar del suelo estabilizado con cemento es de 30 kg/cm^2 . Este valor alcanzó con una adición del 12% de cemento con respecto al peso del suelo seco. La estabilización produce una mejora sustancial en las características mecánicas del suelo, incrementando la resistencia del 9.5% (valor inicial medido mediante CBR) al 15.8%. Como **conclusión** el cemento demuestra ser un excelente aliado para fortalecer los suelos. En este estudio, observó que añadir más de un 8% de cemento a la mezcla aumenta significativamente la resistencia frente a cargas constantes. Usar cemento puede resultar caro cuando el camino largo con mucho suelo fino, como el caolín.

Parra en la tesis “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante” ante la Universidad Católica de Colombia obteniendo el propósito fundamental de esta investigación es determinar la dosificación óptima de cal y ceniza para la estabilización del suelo caolín mediante la química. Incluyendo estos materiales en diferentes porcentajes, evaluó la resistencia a la... con el fin de optimizar el comportamiento mecánico del suelo a la compresión, en Ecuador un estudio analizó cómo la cal viva y el cemento controlan la expansión de un suelo muy plástico en Tosagua, provincia de

Manabí. Hicieron pruebas para ver cuánto se hinchaba el suelo al natural y con 3, 5 y 7% de cal o cemento. Los resultados fueron que solo el 3% de cal, la expansión redujo un 20%, con 5% bajó un 40% y con 7% llegó a una reducción del 57%. El cemento también fue efectivo: con 3% la expansión bajó un 57%, con 5% un 74% y con 7% un increíble 87%. En resumen, tanto la cal como el cemento reducen la expansión del suelo. (5)

Los resultados indican que la estabilización química con cal viva produce un aumento en el esfuerzo máximo y la rigidez del suelo, debido a la reacción de secado que se produce al absorber el agua presente. En contraste, el estabilizador de ceniza volante no mostró la misma efectividad en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo.

Camargo y Duran sobre el estudio “Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos de baja plasticidad mediante el uso del cemento para capa de rodadura en vías terciarias” (6) que se presentó ante la Universidad de Cartagena que en Colombia, estudió cómo mejorar un suelo arcilloso con cemento para construir caminos rurales. Primero, analizó el suelo: cuánta agua podía absorber, el tamaño de sus partículas y los límites de Atterberg. Los resultados mostraron que el suelo tenía un límite plástico del 18%, un límite líquido del 33.19% y un índice de plasticidad del 15.19%. La prueba CBR dio un 6.22%, es decir el suelo, aunque al principio no era muy bueno, con el cemento mejoró bastante, la **metodología** fue de carácter experimental con un este estudio se basó en mediciones precisas para encontrar la mezcla ideal de suelo y cemento. Probaron con 10%, 12% y 14% de cemento, y el ganador fue el 12%. Con un 18% de humedad, la mezcla alcanzó la máxima densidad. La resistencia del suelo aumentó al 30%, aunque el suelo es arcilloso y de baja plasticidad (clasificado como A-6 y CL), mezclarlo con cemento lo hace mucho más

fuerte. De otra parte, Los resultados de esta investigación indican que la estabilización del suelo arcilloso característico de Membrial mediante la tecnología de suelo-cemento no cumple para capa de rodadura de forma directa, sin embargo, es una alternativa muy completamente realizable si la uso es para colocación de carpetas asfálticas o pavimentos.

2.2. Antecedentes Nacionales

Velásquez en la tesis “Influencia del Cemento Portland Tipo I en la Estabilización del Suelo Arcilloso de la Subrasante de la Avenida Dinamarca, Sector la Molina”, sustentada en la Universidad Nacional de Cajamarca. Esta investigación se centra en la evaluación del impacto del cemento Portland Tipo I en la estabilización del suelo arcilloso que conforma la subrasante de la avenida Dinamarca, en el sector la Molina. La **metodología** fue experimental, cuantitativa y de nivel descriptivo. Resultados El cemento Portland Tipo I obró logró reducir la plasticidad y contracción, y aumentó la resistencia (CBR). Al analizar el suelo, encontró que no era apto para construir una subrasante. La peor parte estaba en la calicata C2, con un suelo muy plástico (44%) y con tendencia a cambiar de volumen (27%). El CBR era apenas del 1.30% muy bajo. Concluye que el cemento Portland Tipo I redujo el plasticidad e índice de contracción, sino que también impulsó el CBR. Antes de la estabilización, el suelo era un desastre como terreno de fundación, con un CBR de apenas 1.3%. Pero con un 5% de cemento, el CBR llegó a 13.75%. (7)

(Mamani, 2018) en la investigación doctoral titulada “Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito”, expuesta ante la prestigiosa Universidad Peruana Unión de Juliaca. Cuyo **objetivo** de este estudio fue examinar la estabilización de suelos utilizando cemento como aditivo,

con el fin de determinar la aplicación en pavimentos rígidos y flexibles en vías de baja demanda. La **metodología** utilizada de cuasiexperimental de nivel descriptivo y de tipo cuantitativo. Encontrando un CBR de diseño del 12.79% para la subrasante. La subbase granular, con un suelo clasificado como $A - 1 - a (0)$, usó un 5% de cemento. A los 7 días, la resistencia a la compresión simple superó los 1.8 *Mpa*, o 18 *Kg/cm²*. Las pruebas de compresión simple a los 7 días, según la AASHTO, dieron resultados de 17.7 *kg/cm²*, 17.8 *kg/cm²* y 10.2 *kg/cm²*. Este último valor descartó por ser muy diferente, y tomó el promedio de los otros dos: 17.75 *kg/cm²*. En cuanto a la base con cemento, el suelo clasificó como $A - 1 - a (0)$ y usó un 5% de cemento. Las pruebas a los 7 días dieron 19.2 *kg/cm²*, 19.6 *kg/cm²* y 19.3 *kg/cm²*, con un promedio de 19.4 *kg/cm²*. Superó las especificaciones, otro diseño aceptado. Y llegó a la **conclusión** que: La estabilización de suelos con cemento, aplicada a componentes estructurales como la base y la subbase granular, incrementa la resistencia del material, medida a través del CBR (California Bearing Ratio).

Salas en el trabajo de investigación titulado “Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento de la base del km 11+000 al km9+000 de la carretera Puno - Tiquillaca Mañazo” (8) de la Universidad Andina Néstor Velásquez, el **objetivo** era estabilizar el suelo de la cantera para mejorar la carretera. Como **metodología** es de diseño experimental de enfoque cuantitativo y tipo aplicada. Donde obtuvo como resultados que el cemento portland ASTM tipo IP y el aditivo terrasil son agentes estabilizadores buenos por otra parte la adición de 4 % resultó valores óptimos con respecto al Ministerio de Transporte y Comunicaciones, y respecto al índice plástico logro que se tenga un valor de 6,74 %, la densidad seca de 1,99 *gr/cm³* y con un CBR de 61,37 % donde se obtuvo valores obtenidos mayores a los estándares del MTC. Por último, **concluye** que aplicando el cemento en distintos

porcentajes entre 2% a 4% el suelo natural tiene mejores resultados del 4 % en la plasticidad, logrando en promedio un valor de 6,19 % y es mejor la estabilización con cemento porque obtuvo como resultado que es óptimo y es recomendado por la MTC.

Urcia en la tesis titulada “Estabilización del suelo con la aplicación de Cemento portland tipo I ´ Mejoramiento de la vía con superficie granular en el sector Izcuchaca-Quichuas, Región Huancavelica, 2017" (9) (Universidad César Vallejo). El propósito fundamental de esta investigación es analizar la estabilización de suelos mediante cemento portland tipo I con el fin de mejorar el nivel de afirmado de la carretera en el tramo Izcuchaca-Quichuas, Región Huancavelica, 2017. **Metodología:** Para llevar a cabo la investigación, recolectaron muestras de suelo en el área de estudio. Estas muestras sometieron a análisis de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. El tipo de investigación fue aplicada con un diseño experimental, con un nivel descriptivo y explicativo. Los resultados de estos análisis utilizaron para determinar los requerimientos de estabilización del suelo. Posteriormente, realizaron mezclas de suelo-cemento para estudiar el efecto del cemento portland tipo I en el suelo. Los análisis demuestran que la mayor densidad seca de 2,13 g/cm³ El cemento ha obrado un cambio espectacular en el tramo Izcuchaca-Quichuas. Es impresionante cómo ha logrado controlar la humedad del suelo, reduciéndola de 8.4% a 5.4%. Y no solo eso, la densidad seca alcanzada de 2.240 gr/cm³ gracias a la prueba Proctor nos indica una compactación del suelo mucho mayor, siendo una estructura del camino más sólida y resistente. Sin duda, el cemento se ha convertido en un componente indispensable para garantizar la durabilidad y calidad de esta vía. Concluyendo que los resultados señalan que la estabilización del suelo con la aplicación de cemento portland tipo I es una técnica efectiva para elevar la calidad de la vía en el tramo Izcuchaca-Quichuas (Huancavelica) en 2017.

Becerra & Herrera en la trabajo de investigación titulado “Estabilización de arcillas arenas y afirmados, planteando proporciones de los Cementos Pacasmayo Banorte Mochica y Qhuna en la región Lambayeque” (10). El objetivo general fue investigar el efecto del cemento en la estabilización de suelos arcillosos. Utilizó como metodología evaluar el efecto del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso, realizaron diferentes ensayos de laboratorio, como ensayos de plasticidad, Proctor modificado, límites líquidos y sólidos, densidad aparente, contenido de humedad, contenido de cemento, índice de plasticidad, resistencia al cizallamiento y resistencia a la compresión. El estudio reveló que la adición de cemento Portland tipo I al suelo arcilloso mejoró significativamente sus propiedades. Observó una reducción en la plasticidad y la retracción del suelo, por tanto una mayor estabilidad dimensional. Además, el índice CBR aumentó considerablemente, alcanzando valores que permiten clasificar la subrasante como "buena" con tan solo un 4% de cemento. En resumen, la estabilización con cemento Portland tipo I presenta como una solución efectiva para optimizar las características de este tipo de suelo. En general, según la clasificación del suelo, estos suelos no son adecuados para el uso como material de suelo. A si mismo también la Metodología Con un enfoque experimental, la investigación buscó comprender la relación causa-efecto de un fenómeno físico a través de la manipulación controlada de las variables. Los resultados indican que el cemento Qhuna ofrece la mayor resistencia en los tres tipos de suelo, superando a Mochica y Viaforte. Un hallazgo interesante es el comportamiento opuesto de arenas y arcillas: mientras que las arenas tienden a aumentar la densidad y humedad, en las arcillas ocurre lo contrario. Este estudio previo, con características de suelo similares al nuestro, justifica los porcentajes de cemento que proponemos añadir al suelo arcilloso en nuestra investigación.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Suelo

Este suelo, fundamental en cualquier proyecto de construcción, se caracteriza por ser natural, sin vegetación y compactado. Puede presentarse como un material granular o sólido, con diferentes grados de dureza, y puede ser seleccionado, tamizado o extraído directamente.

En el ámbito de la Ingeniería Civil, el suelo se define como un conjunto de partículas sólidas no consolidadas, originadas por la alteración de rocas o suelos preexistentes. Estos depósitos son transportados por agentes naturales como el agua, el hielo o el viento, bajo la influencia de la gravedad, y pueden contener materia orgánica.

(11)

2.3.2. Los Suelos y la Clasificación

Ubicada en la corteza terrestre, el suelo es una capa de espesor variable que se forma a partir de la desintegración de las rocas. (12)

El conocimiento de las propiedades del suelo es crucial para diseñar estructuras seguras y estables. Una correcta identificación del suelo es fundamental y, para ello, contamos con dos sistemas de clasificación ampliamente utilizados: SUCS y AASTHO. (12)

La Tabla 1 muestra los prefijos de la Clasificación de suelos según la Metodología SUCS establecida por el MTC. (13)

Tabla 1*Clasificación de los suelos según la Metodología SUCS*

Tipo de Suelo	Prefijo	Tipo de Suelo	Prefijo
Limo	M	Limoso	M
Orgánico	O	limite liquido alto (>50)	L
Arena	S	pobrementemente granulado	P
Grava	G	bien granulado	W
Turba	Pt	limite liquido alto (<50)	H
Arcilla	C	Arcilloso	C

Si bien este sistema es ideal para diseñar cimentaciones como zapatas o plateas, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda otro sistema más adecuado para el diseño de vías. Por ello, la normativa peruana actual establece una relación entre ambos sistemas, como se observa en la Tabla 2, que muestra un cuadro comparativo entre SUCS y AASTHO.

Tabla 2*Comparación de los sistemas de clasificación SUCS y AASTHO*

Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
A-1 ^a	SP, GM, GW, GP, SM, SW
A-1b	GM, SM, SP, GP
A-2	GM, SC, SM, GC
A-3	SP
A-4	ML, CL
A-5	ML, CH, MH
A-6	CL, CH
A-7	OH, CH, MH

Nota: Fuente MTC

2.3.3. Suelos Arcillosos o Finos

Originados por la desintegración de grandes rocas, los suelos arcillosos se caracterizan por la composición mineralógica, principalmente silicatos, es decir el comportamiento particular.

La alta capacidad de retención de agua de las arcillas, debido a la gran superficie específica, provoca fluctuaciones en el volumen, contrayéndose y expandiéndose en función del contenido de agua. (14)

La presencia de silicatos de aluminio en la composición de las arcillas explica sus principales características: son pegajosas en contacto con líquidos, pero suaves al tacto cuando se secan. El pequeño tamaño de sus partículas, de 0.005 mm, también contribuye a la plasticidad. (14). Por otra parte, la Figura 2 muestra las características de la arcilla suave al tacto y extremadamente compacta.

Figura 2

Ilustración de arcilla y sus características



Nota: Vista de un suelo arcilloso. (14)

2.3.4. Suelos Granulares

Los suelos granulares, compuestos por partículas grandes con amplios espacios de aire, se caracterizan por la falta de cohesión. Sin embargo, compensan esta característica con alta resistencia y permeabilidad. Dentro de los suelos granulares encontramos las gravas, fragmentos de roca con tamaños superiores a 2 mm según la clasificación SUCS, originados por la desintegración de rocas debido a factores ambientales como la lluvia o el viento. (15)

A diferencia de otros tipos de suelo, los granulares se distinguen por la falta de cohesión. Esto se debe a que sus partículas, de gran tamaño, dejan amplios espacios de aire que impiden que se mantengan unidas. No obstante, esta característica se ve compensada por la alta resistencia y permeabilidad. (15)

Si hablamos de suelos granulares, podemos distinguir diferentes tipos:

2.3.5. Gravas

Las gravas, fragmentos de roca menores que la roca madre original, se originan por la acción de fenómenos atmosféricos como la lluvia y el viento. Se consideran gravas aquellas partículas que superan los 2 mm de tamaño, de acuerdo con la clasificación SUCS. (15)

Estos materiales, típicamente encontrados en ríos, canteras de montaña o zonas donde la roca madre se fragmenta, se caracterizan por el fácil fraccionamiento, lo que provoca el desgaste de las partículas. (15)

2.3.6. Arena

Las arenas están formadas por granos finos, producto del desgaste mecánico de las rocas. El tamaño de estas partículas oscila entre 2 mm y 0.05 mm. Al igual que las gravas, carecen de cohesión. (15)

Es común encontrar arenas en las orillas de ríos o mares, aunque la presencia de impurezas puede afectar el comportamiento. A diferencia de las arcillas, las arenas no tienen propiedades plásticas, siendo menos resistentes a la compresión. (15)

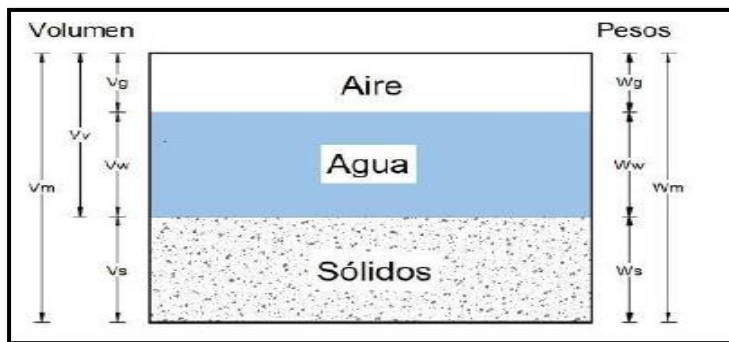
2.3.7. Composición del Suelo

El suelo puede ser concebido como un complejo entramado trifásico compuesto por tres componentes principales: sólido, líquido y gaseoso. La fase sólida, que define la textura del suelo, está formada por partículas de roca madre y minerales. En la fase

líquida predomina el agua, mientras que en la gaseosa el componente principal es el aire. La interacción de estas tres fases determina el volumen total del suelo y permite analizar propiedades como la porosidad y el peso específico, entre otras (4), sin embargo, también podemos observar las fases y propiedades del suelo en la Figura 3.

Figura 3

Fases del suelo



Nota: Propiedades de las fases del suelo (4)

2.3.8. Análisis Granulométrico

El ensayo de granulometría tiene como finalidad Para determinar la distribución de tamaños de las partículas del suelo, se recurre a un proceso de tamizado utilizando herramientas como tamices o zarandas. (12) En la Figura 4 podemos observar los instrumentos para poder realizar el ensayo granulometrico.

Figura 4

Ilustración de ensayo Granulométrico



Nota: Tamices para el análisis granulométrico (12)

Sin embargo, con la ayuda de estos instrumentos y como se observa en la Tabla 3, los suelos pueden clasificarse en diferentes rangos de tamaño, como se describen a continuación:

Tabla 3

Tamaño de las partículas según el tipo de material

	Tipo de Material	Tamaño de las Partículas
Arena	Grava	75 mm – 4.75 mm
	Arena Gruesa	4.75 mm – 2.00 mm
	Arena Media	2.00 mm – 0.425 mm
	Arena Fina	0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a – 0.005 mm

Fuente: MTC (2014)

La norma MTC E 107 rige el desarrollo del ensayo de granulometría, basándose en lo establecido por la norma ASTM D 422 . (16)

Para llevar a cabo el análisis granulométrico, se utiliza una serie de tamices con mallas estandarizadas que cumplen con las normativas vigentes. El orden de los tamices es el siguiente: 3", 1 ½", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. (16)

2.3.9. Contenido de humedad

Esta propiedad, que mide el nivel de agua: presente en el suelo, varía según las condiciones climáticas. El valor es muy susceptible a los cambios de temperatura, por lo que se requiere un manejo cuidadoso de las muestras, incluyendo el parafinado, para la correcta extracción y determinación. (12)

Para calcular el grado de humedad en el suelo, se pueden seguir las directrices de acuerdo con lo establecido en la norma MTC E 108 o la NTP 339.129, que detallan

los procedimientos y materiales necesarios (16). Requiere de un conjunto de instrumentos, entre los que destacan esta determinación se encuentran:

- a) Horno con temperaturas de aproximadamente 110 °C.
- b) Balanzas.
- c) Materiales de manipulación.

El proceso de medición de la humedad inicia con la recolección de una muestra de suelo de al menos 20 g. Esta muestra se pesa y se coloca en un horno. Una vez seca, se retira del horno para realizar las mediciones correspondientes. (16)

El contenido de humedad es clave para determinar la cantidad de agua necesaria en la compactación, la cual se evalúa mediante el ensayo Proctor. Si el contenido de humedad óptimo supera al natural, el suelo debe secarse antes de la compactación. En caso contrario, se puede compactar con el exceso de agua. (16), finalmente, en la Figura 5, podemos observar la propuesta de Cabrera acerca del contenido de humedad del suelo.

Figura 5

Ilustración Contenido de Humedad del Suelo



Nota: Contenido de humedad del suelo (12)

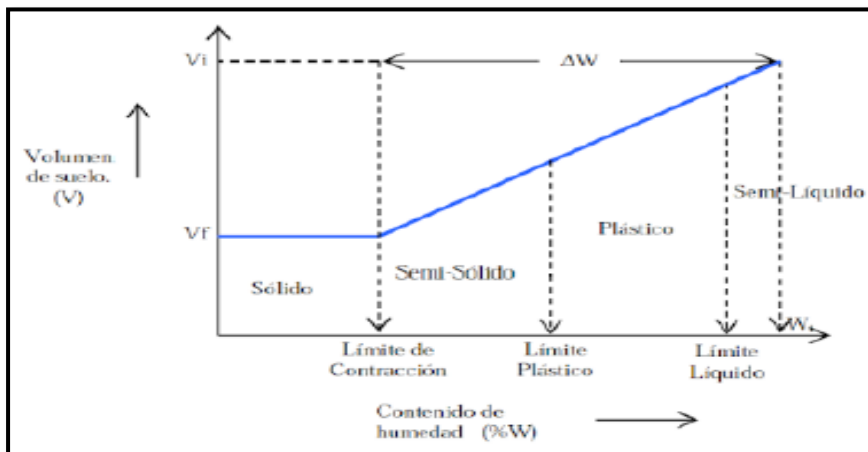
La plasticidad del suelo nos da una idea de la capacidad para deformarse sin romperse. Generalmente, los suelos plásticos, ricos en arcilla, se caracterizan por la cohesión y son clasificados según los límites de Atterberg. (17)

2.3.10. Estados de Consistencia

La consistencia del suelo, como un camaleón, se adapta a la cantidad de agua que alberga. Si esta aumenta, el suelo como un camaleón, se adapta a la presencia del agua. Abundante, se vuelve líquido; escasa, se endurece (4) , por otra parte, podemos apreciar en la Figura 6 los límites de consistencia del suelo propuesta por Braja M 2015.

Figura 6

Límites de Consistencia del Suelo



Nota: Límites de Consistencia de Suelo (18)

2.3.11. Límite Líquido

Este límite, expresado como un porcentaje del peso o volumen total, determina la cantidad de agua que un suelo puede contener. Marca la transición entre el estado semilíquido y el estado plástico del suelo. (18)

En la sección 301.02, destaca que esta propiedad no debe superar el 35% en materiales de afirmado según lo establecido por el MTC en el año 2014.

Para determinar el valor, se recurre a la norma MTC E 110 o la NTP 399.129.

(16)

El límite líquido del suelo se determina mediante la copa de Casagrande. Este proceso consiste en colocar una muestra de suelo en la copa y realizar una ranura de 12 mm en la superficie. A continuación, se procede a dejar caer la copa repetidamente desde una altura de 1 cm, accionando una manija, hasta que la ranura se cierre por completo. El límite líquido se alcanza cuando el cierre se produce en un promedio de 25 golpes (16), en la Figura 7 vemos la ilustración de Copa Casagrande para el análisis de límite líquido. (18)

Figura 7

Límite Líquido



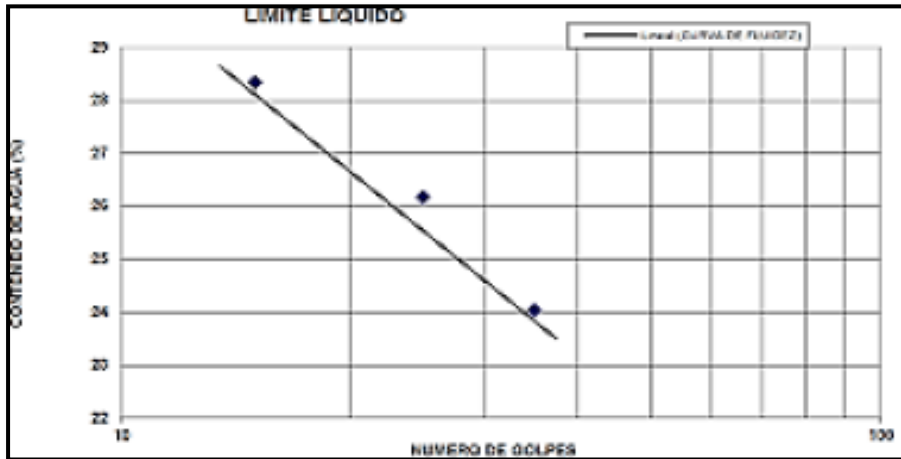
Nota: Copa Casagrande para el análisis de límite líquido (18)

Al alcanzar el cierre de la ranura con los 25 golpes, se extrae un fragmento del suelo para analizar la humedad en el horno, lo que nos dará el valor del límite líquido. Dado que es difícil lograr el cierre exacto en 25 golpes, se suelen tomar muestras con valores cercanos a este número, generando una gráfica que relaciona el número de golpes con el contenido de humedad. (16), por ende, en la Figura 8 podemos apreciar la

curva la relación entre la humedad y la compactación del suelo planteada por Braja (2015).

Figura 8

Curva del contenido de humedad y número de golpes



Nota: Curva del contenido de humedad y el número de golpes (18)

2.3.12. Límite Plástico e Índice de Plasticidad

El límite de plasticidad marca el punto en el que el suelo deja de ser moldeable y comienza a agrietarse al perder humedad. Es un indicador clave de la plasticidad del suelo y delimita la frontera entre el estado plástico y el semisólido. (19)

Un límite líquido elevado suele indicar un alto contenido de la presencia de arcilla en el suelo. (19)

Este límite define el momento en que el suelo pierde la capacidad de moldearse y se vuelve susceptible a la fractura al disminuir el contenido de agua. Representa un parámetro esencial para evaluar la plasticidad del suelo, estableciendo la transición entre el estado plástico y el semisólido.

Para expresar esta propiedad, se determina la proporción de agua presente sobre la tierra, la cual se representa en forma de porcentaje. (16) según se muestra en la Figura 9, en el ensayo de límite plástico e índice de plasticidad.

Figura 9

Ensayo de Límite Plástico



Nota: Ensayo del límite Plástico

El valor de la desviación estándar del límite plástico, como indican las normas internacionales, se sitúa en un máximo de 0.9, con una variación promedio de $\pm 2.6\%$ (19)

Tal como lo indica el MTC el índice de plasticidad, que se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, es un parámetro crucial para el control de las propiedades del suelo. Este índice revela el porcentaje de arcilla, siendo tan importante que la norma lo utiliza para clasificar los suelos, como se puede apreciar en la Tabla 4. (13)

Tabla 4

Clasificación del Índice Plástico

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP < 20$	Media	Suelos arcillosos

IP < 7	Baja	Suelo pocos arcillosos
IP = 0	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Nota: Clasificación del índice plástico según MTC (2014)

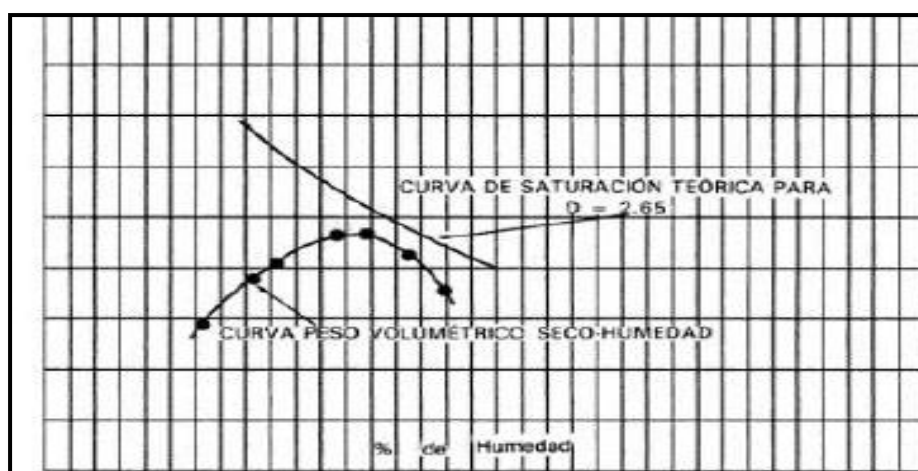
2.3.13. Compactación del Suelo

La compactación es una propiedad fundamental que aumenta la resistencia. La comprensión de este concepto fue un desafío, y solo en 1993, gracias a los trabajos de Proctor, se logró una teoría que relaciona la compactación con la densidad y la humedad del suelo, al sistematizar datos de campo. (17)

En la Figura 10 se muestra la curva de compactación obtenida en base a los ensayos de próctor.

Figura 10

Curva de compactación obtenida con el ensayo Proctor



Nota: Curva de Compactación Machco (2019)

Con el desarrollo de esta teoría el (MTC, 2014), Para calcular la energía de compactación, se debe utilizar la siguiente fórmula establecida en la normativa.

Ecuación 1. Cálculo de Energía de Compactación.

$$E = \frac{W \cdot H}{V} \cdot N$$

V

E, energía específica para compactar el suelo,

W, peso del pistón,

H, altura que cae el pistón,

N, cantidad de golpes y

V, volumen total del suelo compactado.

En otras palabras, a mayor energía de compactación, mayor será el peso específico del suelo y menor la cantidad de agua necesaria para lograr la compactación.

2.3.14. Ensayo de Proctor Modificado

El ensayo Proctor, desarrollado para relacionar la humedad y el peso seco del suelo, se rige por la norma MTC E 115 para la aplicación en laboratorio. Esta norma establece que, al llevar el ensayo a campo, se debe considerar una capa de 30 cm y alcanzar un 95% de densidad seca. (13)

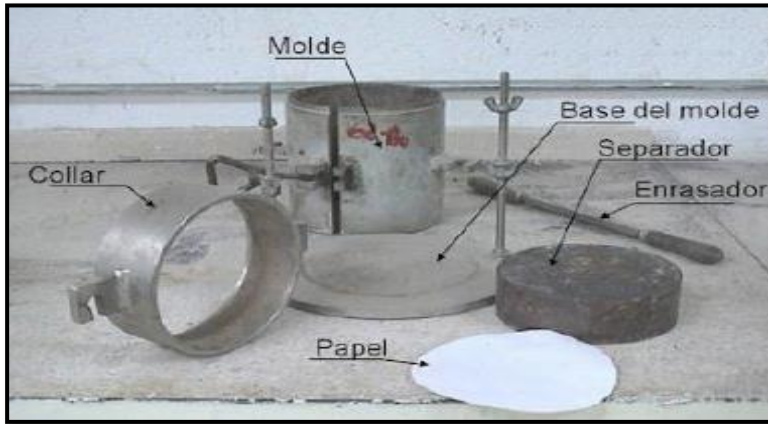
Cuando se lleva a cabo el ensayo de Proctor, el MTC (2014) indica los instrumentos esenciales para esta tarea son:

- a) Moldes metálicos, que tengan diámetros de 4 o 6 pulgadas y una altura de 4.58 pulgadas.
- b) Un pistón con el cual se pueda compactar el suelo al dejarse caer desde una altura de 18 pulgadas.
- c) Balanza y horno eléctrico.
- d) Regla metálica y zarandas de 3/4'', 3/8'' y N°4.

Sin embargo, en la Figura 11 podemos apreciar todos los instrumentos que comprende el ensayo de Proctor.

Figura 11

Instrumentos para la elaboración del ensayo Próctor



Nota: Fuente Machco 2019 (17)

- **Muestras para el ensayo Proctor**

La cantidad de suelo necesaria para el ensayo Proctor varía según las diferentes técnicas de compactación (A, B o C) se adaptan a las características del suelo. Los métodos A y B requieren 16 kg de suelo, mientras que el método C necesita hasta 29 kg por ensayo. (13)

- **Aplicación de los métodos de compactación**

Existen tres métodos principales para compactar el suelo:

- **Método A:**

Este método se emplea cuando la cantidad de suelo retenida en la malla N°4 es menor o igual al 20%. Se compactan 5 capas, aplicando 25 golpes a cada una. (13)

- **Método B:**

Este método es adecuado cuando más del 20% del material queda retenido en el tamiz N°4 y, simultáneamente, el 20% o menos se retiene en el tamiz de 3/8". En este caso, se compactan 5 capas, aplicando 25 golpes a cada una. (13)

- **Método C:**

Este método se utiliza cuando una cantidad considerable del suelo, más del 20%, queda retenida en el tamiz de 3/8", pero a la vez, menos del 30% se retiene en el tamiz de 3/4". (13)

- **Procedimiento del ensayo Proctor**

Para asegurar el éxito del ensayo Proctor, el MTC (2014) establece un protocolo preciso que se debe seguir meticulosamente:

- Selección del método: En primer lugar, se debe determinar el método de compactación más adecuado para el tipo de suelo que se va a analizar.
- Verificación de instrumentos: Es crucial comprobar la validez y precisión de todos los instrumentos y materiales que se emplearán en el ensayo.
- Tamizado del suelo: Se procede a tamizar el suelo utilizando las mallas especificadas según el método de compactación elegido.
- Preparación de muestras: Se preparan diversas muestras de suelo con variaciones de contenido de humedad del 2%.
- Preparación de moldes: Los moldes que se utilizarán en el ensayo deben prepararse con sumo cuidado.

- Compactación en capas: El suelo se vierte en el molde en capas, compactándolo según el método seleccionado y aplicando los golpes necesarios.
- Enrase del material: Una vez compactado el suelo, se retira el collarín de apoyo del molde y se enrasa el material sobrante.
- Pesaje y determinación de humedad: Finalmente, se pesa el espécimen completo y se registra el valor. Luego, se desmenuza el material para determinar el contenido de humedad.

2.3.15. Capacidad de Soporte del Suelo

El CBR, también conocido como Relación de Soporte California, es un valor que nos permite estimar la resistencia del suelo de forma indirecta. Este valor es fundamental para calcular los espesores del pavimento en proyectos de construcción de vías. (7)

El índice CBR puede entenderse como la relación entre la tenacidad del suelo, la resistencia a ser dividido, en condiciones de alta humedad y densidad controlada, y la fuerza necesaria para incrustar un pistón a profundidades de 0.1 y 0.2 pulgadas. (7)

Existe un debate en torno a la saturación de las muestras antes del ensayo CBR. Algunos argumentan que esta práctica lleva a una sobreestimación del valor CBR, lo que a la vez implica diseñar capas asfálticas más gruesas de lo necesario. Sin embargo, esta visión conservadora, que prioriza el peor escenario, sigue siendo la norma. (7)

La clave para calcular este parámetro se encuentra en la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Cálculo para obtención del CBR

$$CBR = \frac{CARGA\ UNITARIA\ DEL\ ENSAYO}{CARGA\ UNITARIA\ DEL\ PATRON} \times 100$$

Siguiendo las pautas del Manual de Carreteras, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece que una subrasante debe tener un CBR mínimo del 6% en al menos una capa de 0.60 m de espesor. Este valor se determina mediante un ensayo de penetración de 0.1 pulgadas y sirve como criterio para clasificar la subrasante, (20) , en tabla 5 se observa la clasificación de la subrasante en función al CBR.

Tabla 5

Clasificación de la subrasante en función al CBR

CATEGORIAS DE LA SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	CBR >= 3% a CBR < 6%
S2: Subrasante regular	CBR >= 6% a CBR < 10%
S3: Subrasante buena	CBR >= 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	CBR >= 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR >= 30%

Nota: (16)

El MTC (2016), manual de ensayos de materiales nos revela las herramientas y materiales esenciales para este desafío:

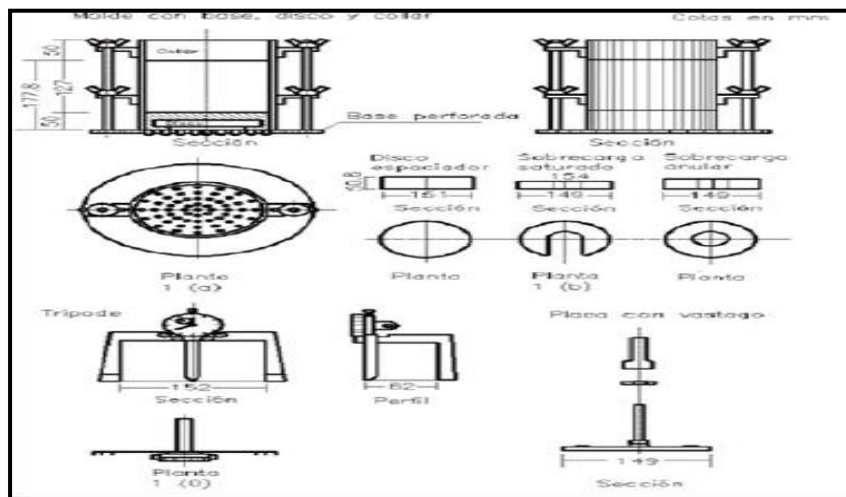
- a) Prensa de compresión y un molde de forma cilíndrica que se muestra en la siguiente figura.
- b) Un pistón, como varita mágica, compactará las muestras con precisión.
- c) Un instrumento medidor de deformación, cual ojo avizor, registrará cada cambio en la muestra.

- d) Pesas ranuradas, con masas de 4.54 kg y 2.27 kg, actuarán como contrapeso en este proceso.
- e) Un espacio destinado a la saturación de los especímenes, donde el agua obrará la magia.
- f) Un horno eléctrico, capaz de alcanzar los 110 °C, se encargará del secado, mientras que tamices de 4, 3/4" y 2" y una balanza electrónica completarán el conjunto de herramientas para este desafío.

En la Figura 12 se observan las partes del instrumento para realizar el ensayo de CBR.

Figura 12

Características de los instrumentos para realizar el ensayo de CBR



Nota: Instrumento para realizar el ensayo de CBR (19)

2.3.16. Procedimiento del Ensayo de CBR

El MTC (2014), en la manual de ensayo de materiales (13), detalla el siguiente proceso:

- 1) Preparación de moldes: Se alistan los moldes donde se crearán los especímenes para el ensayo.

- 2) Selección de la muestra: Se utiliza únicamente el material que pasa por el tamiz 3/4".
- 3) Ajuste de humedad: A la muestra seca se le añade agua en porcentajes equivalentes al contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo Proctor.
- 4) Compactación: Se llenan los moldes con el material y se compacta mediante golpes, buscando obtener diferentes grados de compactación.
- 5) Enrase: Tras la compactación, se desmoldan los collarines y se enrasa la muestra de suelo.
- 6) Pesaje y carga: Se pesa la muestra y se le añaden cargas utilizando pesas.
- 7) Inmersión y control: Se sumergen las muestras en agua y se controla la expansión durante 4 días.
- 8) Pesaje final y ensayo CBR: Se retiran los moldes del agua, se pesan las muestras y se someten a la prueba de penetración en la máquina de CBR.

En la Figura 13 podemos apreciar las características del instrumento empleado en el ensayo CBR.

Figura 13

Ensayo de CBR



Nota: Características de Los Instrumentos de Ensayo CBR (20)

2.4. Bases Teóricas

2.4.1. Arcilla

Los suelos arcillosos se definen por la presencia dominante de partículas minúsculas, con un tamaño inferior a 0.002 mm. Estas partículas provienen de la descomposición de materiales ricos en silicatos de aluminio o de la fragmentación de rocas y minerales debido a la acción de agentes químicos y físicos. La característica distintiva de las arcillas es la capacidad de transformarse en una masa plástica al absorber agua y de endurecerse al secarse. (4)

2.4.2. Subrasante

La capa superior del suelo o terreno natural sobre la que se asientan las demás capas de un pavimento se denomina subrasante. Es crucial que esta capa sea compactada y mejorada, ya que es la responsable de transmitir las cargas del tráfico vehicular a las capas inferiores del terreno. (20)

2.4.3. Cemento Portland

El cemento hidráulico nace de la pulverización del clinker, una sustancia rica en silicatos de calcio con propiedades hidráulicas. En este proceso, se incorpora sulfato de calcio y, en ocasiones, caliza. El cemento portland, estrella entre los cementos hidráulicos, se compone principalmente de estos silicatos mágicos. Al mezclarse con agua, este polvo fino se convierte en un aglomerante que une los agregados en el concreto, como un abrazo pétreo. El endurecimiento del cemento hidráulico se debe a una reacción química llamada hidratación, que ocurre al contacto con el agua. Esta reacción transforma la mezcla en una masa sólida, similar a la piedra, conocida como pasta. (21)

2.4.4. Tipos de Cemento Portland

Para satisfacer las distintas necesidades químicas y físicas de cada aplicación, se fabrican diferentes tipos de cemento portland. Estos tipos de cemento se clasifican según la norma ASTM C 150 (Especificación estándar para cemento Portland). A continuación, en la Tabla 6 se explican los tipos de cementos y sus características principales.

Tabla 6

Tipos y características del cemento

Tipos	Características
I	Normal
II	Posee resistencia a sulfatos (Moderado)
III	Mayor Resistencia
IV	Menor calor de Hidratación
V	Resistencia a los Sulfatos (Alta)

El cemento se clasifica en diferentes tipos según la uso y propiedades:

Tipo I: Es el comodín, ideal para aplicaciones generales como pisos, pavimentos y edificaciones, donde no se necesitan características especiales.

Tipo II: Un escudo contra los sulfatos, se usa en suelos con moderada presencia de estas sales, común en aguas subterráneas. Ofrece una resistencia moderada a los sulfatos gracias a la composición con más del 8% de aluminato tricálcico.

Tipo III: El velocista, alcanza alta resistencia en una semana o menos. Similar al Tipo I en composición, pero con partículas más finas que aceleran el proceso. Ideal para proyectos que requieren un uso rápido de la estructura o en climas fríos.

Tipo IV: El que mantiene la calma. Reduce el calor generado durante la hidratación, perfecto para estructuras masivas de concreto.

Tipo V: La fortaleza contra los sulfatos. Se emplea en suelos con alta concentración de sulfatos, especialmente en presencia de agua subterránea.

2.4.5. Cemento Portland Tipo I

El Cemento Portland Tipo IP es una combinación de cemento, cal y agregados que se utiliza en la elaboración de concreto y mortero. Este tipo de cemento está formulado para ofrecer resistencia al agua y a los sulfatos, a la vez que proporciona una mayor resistencia a la compresión y reduce la retracción.

a) Características

El cemento Portland Tipo IP, tiene las siguientes características:

- Obtiene conseguir mayores resistencias iniciales.
- Sus componentes le permiten lograr fragua en menores tiempos.

b) Usos y Aplicaciones

El Cemento Portland Tipo IP es un material versátil con diversas aplicaciones en la construcción:

- Ideal para obras de concreto pretensado, simple y armado, como infraestructuras, puentes, sistemas de riego y pavimentos.
- Su capacidad de alcanzar resistencias iniciales rápidas lo hace perfecto para proyectos que requieren un desencofrado ágil.
- Recomendado para obras en climas fríos.

- Se utiliza en la fabricación de productos prefabricados como bloques, ladrillos de concreto, pavimentos y cimentaciones

2.4.6. Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos busca mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Para lograrlo, se incorporan diversos elementos, ya sean químicos o naturales, como cemento, cal o incluso asfalto. Estos materiales actúan como agentes estabilizadores, optimizando el comportamiento del suelo y aumentando la resistencia y durabilidad. (4)

2.4.7. Clasificación de los Métodos de Estabilización de Suelos

Hoy en día, existe una amplia gama de técnicas para estabilizar suelos. La elección de la técnica más adecuada depende de varios factores, como las condiciones del lugar de trabajo y el objetivo específico que se busca al mejorar las propiedades del suelo. El MTC clasifica estas técnicas de diversas maneras, considerando sus características y aplicaciones.

a) Estabilización Físicos y Mecánicos

Para mejorar la estabilidad del suelo, se emplean medios mecánicos como rodillos o compactadores que comprimen el suelo, lo que permite combinar o, en última instancia, reemplazar materiales, según Singh (2021). La principal ventaja de este método radica en que no altera la composición química del suelo, limitándose a disminuir la cantidad de vacíos. (22)

b) Estabilización Químicos

La estabilización química busca optimizar las propiedades del suelo mediante la introducción de agentes químicos. Entre los más comunes se encuentran la cal, el

cemento y aditivos de origen vegetal, que modifican la composición del suelo para mejorar el comportamiento, como indica Singh (2021).

2.4.8. Estabilización con Cemento

La estabilización de suelos con cemento se ha convertido en una técnica popular en ingeniería, especialmente en terrenos pantanosos o arcillosos. El uso se ha extendido en la construcción de carreteras y aeropistas, donde aporta beneficios económicos significativos, según el MTC (2014).

Al estabilizar suelos con cemento, la durabilidad y la resistencia son claves, pero la economía de la mezcla también es vital. Añadir aditivos a la mezcla suelo-cemento no solo genera ahorros, sino que mejora notablemente las propiedades del suelo.

Es crucial que los ingenieros comprendan las reacciones que ocurren al añadir estabilizantes. Aunque existen diversas técnicas y productos, el cemento es uno de los más utilizados.

La estabilización con cemento requiere una buena disgregación del suelo, especialmente en arcillas. Añadir un 2% a 3% de cemento a una mezcla seca con cemento hidratado aumenta la rigidez. Sin embargo, incrementar la dosis al 5% o 6% puede alterar drásticamente las propiedades del suelo (23)

2.4.9. Dosificación del Cemento

La Tabla 7 del MTC (2014) sirve como guía para determinar la dosificación de cemento en la estabilización de suelos. Esta tabla indica el porcentaje de cemento recomendado según el tipo de suelo, ofreciendo un rango de cantidades para optimizar la estabilización.

Tabla 7*Tipos de Suelo y el porcentaje de adición*

Tipos de Suelo	Porcentaje de Cemento
Límite de A-3 y A-2	5 - 10
Límite de A-2 y A-4	7 - 12
A-1 A-3	3 – 8
A-5 y A-6	8 - 15
A-7	10 - 16

Nota: (Manual de Carreteras 2014)

2.4.10. Estabilización con Cal

La cal, un material con una larga historia, ya se utilizaba en la antigüedad para estabilizar suelos, como en la construcción de la Gran Muralla China y las calzadas romanas. la aplicación se centraba principalmente en suelos de granulometría fina. (24)

En términos químicos, la cal es óxido de calcio (CaO), que se obtiene mediante la calcinación de rocas calizas. Este material, con un alto contenido de calcio (95% a 99%), es un recurso valioso en la construcción y la ingeniería civil.

Se conoce que las construcciones realizadas en suelos arcillosos son más susceptibles a producirse fallas, por lo que es necesario mejorar y estabilizar estos suelos y así mejorar la resistencia a las cargas. A continuación, se mencionan los efectos de agregar cal a un suelo arcilloso:

- Disminución significativa del índice de plasticidad y del límite líquido.
- Mayor trabajabilidad, facilitando la disgregación de los grumos de arcilla al contacto con el agua.
- Reducción de los efectos aglomerantes.
- Secado más rápido en suelos arcillosos y pantanosos.

- Control de la humedad, reduciendo sus niveles.
- Aumento de la resistencia a la compresión y del valor relativo de soporte.
- Creación de una plataforma de trabajo rígida para la construcción de pavimentos.

La creación de una superficie estable para la construcción de las capas superiores de un camino es uno de los beneficios de la estabilización con cal. Sin embargo, la elección del contenido óptimo de cal depende de numerosos criterios, factores y procedimientos.

Diversas instituciones, como los departamentos de carreteras de Texas y California en Estados Unidos, han establecido procedimientos para determinar las cantidades óptimas de cal. Estos métodos incluyen técnicas complejas como la refracción de rayos X, la espectrometría con rayos infrarrojos y análisis químicos, así como métodos más sencillos como la determinación de las propiedades geotécnicas del suelo estabilizado y sin estabilizar. En algunos casos, se mide el valor de pH en la mezcla suelo-cal, especialmente cuando el suelo contiene materia orgánica, para evaluar la efectividad de la estabilización. (13)

Independientemente de la técnica o procedimiento empleado, existe un punto óptimo de adición de cal para lograr la estabilización deseada.

Actualmente, el método más utilizado para la estabilización de suelos con cal es el T220-66 de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Este método se basa en pruebas de compresión simple, previa determinación del contenido de cal a utilizar.

Según la National Lime Association de Estados Unidos, la estabilización con cal debe cumplir con ciertas condiciones:

- Utilizar cal hidratada de alta calidad.
- Aplicar la cal en capas de 15 cm de espesor.
- Desmenuzar adecuadamente los fragmentos de arcilla para lograr una estabilización completa y efectiva.
- Dosificar la cal hidratada en relación al peso seco del suelo, extendiéndola y luego humedeciéndola.
- Mezclar y humedecer la cal con el suelo en una etapa inicial para obtener una mezcla uniforme, añadiendo agua hasta alcanzar un 5% de humedad.

El curado posterior a la mezcla inicial es crucial para evitar que el agua y la cal fragmenten los grumos de arcilla. Este proceso debe durar al menos 48 horas, pudiendo extenderse hasta 7 días en suelos muy arcillosos, según lo determine el ingeniero a cargo.

Luego del curado inicial, se realiza un mezclado final para asegurar la disgregación completa de los grumos, los cuales deben pasar por un tamiz de 1 pulgada y, en un 60%, por la malla número 4 (exceptuando las partículas sólidas del suelo).

La compactación se lleva a cabo según las especificaciones del proyecto y los resultados de laboratorio, con un espesor máximo de 15 cm.

Finalmente, se realiza un curado final con agua durante 3 a 7 días, rociando la superficie compactada de forma regular para mantener la humedad.

Para impermeabilizar la superficie, se aplicará un riego con asfalto u otros materiales similares que impidan el paso del agua

2.4.11. Estabilización con Escoria.

La utilización de escoria de acería o de otros hornos de fundición en la construcción de carreteras ofrece ventajas ambientales significativas. Al reutilizar este subproducto industrial, se evita la explotación de nuevas canteras, preservando el paisaje natural. Además, al no requerir el procesamiento de agregados, se reduce el consumo de energía y combustibles, disminuyendo así las emisiones de CO₂.

2.4.12. Estabilización con Cloruro de Sodio.

Las propiedades del cloruro cálcico son menos relevantes en la estabilización de suelos, la bajo costo y abundancia en el mercado lo convierten en una opción atractiva. Se suele aplicar en dosis de 1 kg/m², especialmente en zonas con poca lluvia, ya que la efectividad se limita a suelos secos. En épocas de lluvia, el tratamiento se pierde por lavado y debe repetirse en la estación seca. En zonas costeras, regar con agua marina durante la estación seca puede mejorar los resultados de la compactación. (25)

Existen tres métodos principales para producir cloruro. Uno de los más antiguos consiste en utilizar el calor solar para evaporar el agua salada. Otro método es la extracción directa de minas de sal. El método más reciente implica la evaporación del agua de mar en hornos.

El cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua, higroscópicos y con diferentes grados de pureza. Una de sus propiedades es la capacidad para reducir la temperatura de congelación del agua. Se ha observado que añadir un 2% a 3% de sal al agua puede disminuir el punto de congelación del suelo hasta -22°C.

Si bien existe consenso sobre los efectos de la sal en el suelo, los mecanismos internos de estabilización aún generan debate. Por ello, todo estudio debe considerar tanto los aspectos físicos como químicos.

Ecuación 3. Cálculo Cambio iónico

$$Z = 4 Q \cdot d / K$$

En donde:

- Q: Carga eléctrica.
- d: Espesor de la doble capa.
- A: Área superficial.
- K: Constante dieléctrica.

Si bien las fuerzas de Van der Waals también influyen en las partículas de arcilla, el impacto es secundario en las reacciones que ocurren durante la estabilización.

En general, se ha observado un orden específico en la sustitución de cationes, que se puede describir de la siguiente manera:

Ecuación 4. Cálculo Van der Waals.



En otras palabras, cada ion tiene la capacidad de reemplazar al ion ubicado a la derecha en la secuencia, siempre que la concentración en el electrolito sea la misma. Es importante destacar que este orden no es absoluto y puede variar debido a diversos factores. Por ejemplo, si existe un exceso de un ion en particular en la solución, este será absorbido preferentemente. De esta manera, es posible lograr que una arcilla sea

homofónica, es decir, que contenga un solo tipo de ion, haciendo circular una solución con una única sal entre sus partículas, (25)

2.4.13. Estabilización con Cloruro de Calcio (CaCl₂).

El cloruro de calcio, un subproducto de la salmuera en algunos procesos industriales, también se puede obtener de fuentes naturales como arroyos y pozos, siendo comúnmente utilizado en la producción de carbonato de sodio. Se comercializa en forma de hojuelas o partículas redondeadas, con diferentes grados de pureza. (25)

Es crucial destacar la importancia de los minerales presentes en el suelo y la proporción en la estabilización. Investigadores han demostrado que un pequeño porcentaje de cloruro de calcio, como el 1%, puede aumentar significativamente el peso volumétrico del suelo. Sin embargo, un ligero exceso, como un 0.5% adicional, puede tener efectos adversos. Esto se debe a que, en pequeñas cantidades, el cloruro de calcio une las partículas al contrarrestar las repulsiones negativas y formar enlaces de valencia. No obstante, en exceso, rodea las partículas con cargas positivas, generando una fuerza de repulsión que las separa. (13)

2.4.14. Estabilización con Cloruro de Magnesio

La estabilización con productos asfálticos se define como un proceso que busca mejorar la estabilidad del suelo y la resistencia a la humedad. El asfalto, con sus propiedades aglomerantes, aumenta la cohesión del suelo, creando una superficie de rodado más dura y menos susceptible a las variaciones de humedad. Además, el asfalto impermeabiliza el suelo, protegiéndolo del agua.

2.4.15. Estabilización de Suelos con Cemento

El cemento Portland tiene la capacidad de transformar suelos, mejorando la calidad o creando una masa cementada que incrementa la resistencia y durabilidad (26)

Además, el cemento puede estabilizar suelos arenosos y arcillosos, al igual que la cal. (27) En suelos arcillosos, aumenta la manejabilidad y reduce el índice de plasticidad. Los suelos más adecuados para la estabilización con cemento son los granulares y los arcillosos con baja plasticidad.

2.4.16. Propiedades de los Suelos Estabilizados con Cemento

a) Naturaleza de los Suelos Estabilizados con Cemento

Al estabilizar suelos con cemento, podemos obtener distintos resultados según las propiedades finales de la mezcla. En los suelos mejorados con cemento, se añade una pequeña cantidad de cemento al suelo, previamente disgregado si es necesario, para mejorar características como la resistencia a la humedad, obteniendo como resultado un material suelto. Por otro lado, en los suelos estabilizados con cemento, tras el fraguado del cemento, se obtiene un material con mayor resistencia mecánica. Los suelos estabilizados con cemento para capas de firme se diferencian de los utilizados en explanadas por el mayor contenido de cemento, siendo una resistencia mecánica superior y una mayor homogeneidad.

b) Propiedades en Estado Fresco

El plazo de trabajabilidad es un factor crítico tanto para la ejecución de obras con suelos estabilizados con cemento como para el desempeño a largo plazo. Un método sencillo para determinarlo es mediante ensayos de compactación diferida, donde se compactan probetas después de transcurrido un tiempo desde la mezcla de los componentes, y se mide la densidad.

Por otro lado, la estabilidad inmediata es fundamental para que el suelo estabilizado con cemento, una vez compactado, pueda soportar el tráfico vehicular sin sufrir

deformaciones significativas que afecten el comportamiento futuro. Para ello, el esqueleto mineral del suelo debe tener la estabilidad suficiente.

c) Propiedades Físicas y Mecánicas

Los materiales que se han mezclado con cemento, al igual que los suelos en el estado natural, muestran una relación específica entre la densidad seca y la cantidad de humedad que contienen. Esta relación se puede visualizar mediante una curva, la cual se obtiene al compactar varias muestras del material con diferentes niveles de humedad, utilizando siempre la misma energía de compactación. La forma de esta curva suele ser similar a una parábola, y el punto más alto representa la densidad máxima que puede alcanzar el material. El contenido de humedad específico que permite lograr esa densidad máxima se conoce como humedad óptima.

En lo que se refiere a la permeabilidad, los suelos que han sido estabilizados con cemento suelen presentar coeficientes de permeabilidad que se encuentran en un rango entre 1.7×10^{-7} y 10^{-9} m/s. Los suelos que tienen una proporción significativa de partículas arcillosas generalmente presentan los valores más bajos dentro de este rango. Es importante destacar que la incorporación de cemento puede tener un impacto en la permeabilidad del suelo: en el caso de los suelos granulares, la permeabilidad se reduce de manera considerable, mientras que en los suelos arcillosos o limosos, en ciertas circunstancias, puede aumentar. Como regla general, si se mantienen constantes los demás factores, se observa que a mayor cantidad de cemento presente en la mezcla, menor será la permeabilidad del suelo estabilizado.

Las resistencias mecánicas que exhiben los suelos estabilizados con cemento dependen principalmente de:

a) La proporción de cemento que se ha utilizado en la mezcla.

- b) La densidad que se ha logrado alcanzar durante el proceso de compactación.
- c) La cantidad de humedad presente en la mezcla.
- d) El tipo de suelo y sus características específicas.
- e) El tiempo que ha transcurrido desde que se realizó la estabilización.
- f) Las temperaturas a las que ha estado expuesto el material.

2.4.17. Propiedades de un Suelo Modificado con Cemento

Según la PCA, al añadir pequeñas cantidades de cemento al suelo, se producen mejoras notables en sus propiedades, como:

- Disminución de la plasticidad, medida por el índice de plasticidad (IP).
- Reducción de la cantidad de partículas finas de limo y arcilla.
- Aumento del valor del índice CBR, que indica una mayor capacidad de soporte.
- Incremento de la resistencia al corte, lo que mejora la estabilidad.
- Disminución de la tendencia a sufrir cambios de volumen, como la expansión y la contracción.

La PCA destaca las siguientes ventajas de utilizar suelo modificado con cemento:

- Versatilidad: se adapta a diversos tipos de suelo, desde arenas mal graduadas hasta arcillas altamente plásticas, mejorando la resistencia y durabilidad.
- Mayor capacidad de soporte: permite que el suelo resista mayores cargas.
- Rapidez: no requiere un periodo de curado prolongado.
- Permanencia: las modificaciones en el suelo son duraderas.
- Economía: proporciona una base sólida y económica para pavimentos.
- Eficiencia: mejora el suelo existente sin necesidad de reemplazarlo, reduciendo costos y evitando el transporte de materiales.
- Mejor trabajabilidad: reduce la plasticidad y la cohesión, facilitando el manejo de suelos marginales.

- Resistencia a la intemperie: crea una plataforma de trabajo estable en cualquier clima, resistente al agua y a los ciclos de congelación-descongelación.

2.4.18. Ensayos de Mecánica de Suelos

El Manual de Ensayo de Materiales del MTC establece los ensayos de mecánica de suelos necesarios para una investigación como la que estamos realizando.

Cinco de estos ensayos son:

- **Análisis Granulométrico (MTC E 107):** Este ensayo permite determinar la distribución del tamaño de las partículas del suelo. Nos indica qué porcentaje del suelo pasa por cada tamiz, desde los más grandes hasta el tamiz N° 200 (75 μ m). Esto nos ayuda a entender la composición del suelo y cómo se comportará.
- **Contenido de Humedad:** Este método determina la cantidad de agua presente en el suelo. Se calcula como la relación entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas del suelo. Conocer el contenido de humedad es fundamental para entender las propiedades del suelo, como la resistencia y compresibilidad.
(16)
- **Límite Líquido:** Este ensayo determina el contenido de humedad del suelo cuando pasa de un estado plástico a un estado líquido. En otras palabras, nos dice cuánta agua puede absorber el suelo antes de volverse demasiado blando.
- **Límite Plástico:** Este ensayo determina el contenido de humedad mínimo para que el suelo pueda moldearse sin romperse. Se mide formando pequeños cilindros de suelo y viendo cuándo se desmoronan.
- **CBR (California Bearing Ratio) (24):** Este ensayo mide la resistencia del suelo a la penetración. Se utiliza para evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas, especialmente en la construcción de carreteras y pavimentos.

Nos ayuda a saber qué tan bien el suelo puede soportar el peso de vehículos y estructuras.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Este tema de tesis requerirá un enfoque de investigación cuantitativo. Esto implica la recopilación de datos numéricos para analizar y comprender mejor el tema. El método de investigación adecuado para este tema de tesis es un estudio de campo. Esto implica la recopilación de datos primarios en el lugar de estudio. Los datos recopilados se analizarán para comprender mejor el tema. El estudio de campo también implica la recopilación de datos sobre las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo arcilloso, así como la evaluación del efecto del cemento Portland Tipo IP en las propiedades del suelo.

El diseño de la investigación es cuasi - experimental, según Sampieri, es una investigación en la que los participantes no son asignados aleatoriamente a los grupos de estudio, sino que se seleccionan con base en sus características preexistentes. Estas investigaciones se utilizan para estudiar el efecto de una intervención en un grupo específico de personas. Los resultados de este tipo de investigación tienen menos validez que los de un experimento controlado, pero ofrecen una mejor descripción de los efectos del tratamiento en una población específica. (28)

El presente trabajo se encuadra dentro del tipo de investigación aplicada. Este enfoque se centra en la aplicación práctica de los conocimientos teóricos y técnicos para resolver problemas específicos, en este caso, la mejora de las propiedades del suelo arcilloso mediante técnicas de estabilización con cemento Portland tipo IP. En este contexto, la tesis aborda un problema concreto de ingeniería civil y geotécnica, aplicando los principios de la ciencia del suelo y la ingeniería de materiales para optimizar la infraestructura vial en Sicuani-Cusco, lo que refleja el objetivo

fundamental de la investigación aplicada de generar conocimiento práctico y directamente utilizable en la mejora de procesos, productos o tecnologías específicas.

El presente trabajo adopta un alcance de investigación explicativo. Este nivel se enfoca en entender las causas y efectos de fenómenos específicos, en este caso, cómo la adición de diferentes proporciones de cemento Portland tipo IP afecta las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso. A través de un enfoque explicativo, la investigación busca profundizar en las relaciones causales entre la estabilización del suelo y las variaciones en la composición del cemento, proporcionando una comprensión detallada de los mecanismos por los cuales el cemento Portland tipo IP mejora la capacidad de soporte y otras características relevantes del suelo. Este enfoque permite no solo identificar las mejoras en las propiedades del suelo sino también explicar por qué ocurren estos cambios, contribuyendo al cuerpo de conocimiento en ingeniería geotécnica y pavimentación, y ofreciendo bases sólidas para la aplicación práctica en proyectos de construcción y mejora de infraestructuras viales.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población de Estudio

De acuerdo a Arias conceptualiza la población como un conjunto de elementos, ya sean definidos o indeterminados, que comparten características comunes. Las conclusiones derivadas del estudio de esta población se considerarán extensivas a todos los elementos que la componen. Es importante delimitar la población en función del problema y objetivo de la investigación. (29)

La población, según Lerma se compone de un conjunto de objetos pertenecientes a la misma especie y que comparten características similares. El estudio de la población se lleva a cabo mediante el análisis de las diferencias existentes entre estos objetos. (30)

La investigación se focalizará en el análisis de los suelos arcillosos ligero arenosos que yacen en la subrasante de la Av. Wiracocha, ubicada en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis. El estudio se extenderá a lo largo de los 1400 metros lineales que componen la avenida.

3.2.2. Muestra.

Una muestra es una parte representativa de la población. Existen diversos tipos de muestreo, y la elección del método adecuado dependerá de la precisión y representatividad que se requiera en el estudio. (31)

En esta investigación, se seleccionaron tres puntos de estudio a lo largo de la Av. Wiracocha (distrito de Sicuani, provincia de Canchis), donde se realizaron calicatas para la obtención de muestras. La ubicación de estas calicatas, dentro de los 1400 metros lineales de la avenida, fue determinada mediante un **muestreo intencional no probabilístico**, basado en la experiencia de un técnico en mecánica de suelos.

La razón principal por la que se opta por un muestreo intencional en este caso es para asegurar que las muestras recogidas sean representativas de las variaciones y condiciones específicas del suelo a lo largo de la Av. Wiracocha, considerando los 1400 metros lineales del proyecto. La experiencia del técnico en mecánica de suelos es crucial para identificar las ubicaciones donde es más probable que se observen las características del suelo que podrían influir en el comportamiento físico-mecánico al añadir cemento Portland tipo IP. Este enfoque permite enfocar los recursos y esfuerzos de análisis en áreas clave que se consideran críticas para el éxito del proyecto de estabilización del suelo, maximizando así la relevancia y aplicabilidad de los resultados obtenidos para las decisiones de diseño y construcción.

Según Arias define como una representación finita que se extrae de la población total

(29) En la Tabla 8 se aprecia los ensayos que se realizaron y el número de repeticiones de la investigación.

Tabla 8

Número de repeticiones de los ensayos para la investigación

Ensayos	Patrón	Experimental			Total
		3%	6%	9%	
Granulometría	3	3	3	3	12
Límites de Consistencia	3	3	3	3	12
Equivalente de arena	3	3	3	3	12
Humedad	3	3	3	3	12
Permeabilidad	3	3	3	3	12
Compactación	3	3	3	3	12
Capacidad de Soporte	3	3	3	3	12
Total	21	21	21	21	84

Tabla 9

Propiedades de la Muestra Patrón

Parámetro	Valor	Unidad
Características		
Grava	6,60%	%
Arena	23,90%	%
Fino	69,50%	%
PLASTICIDAD		
Límite líquido	44%	%
Límite plástico	16%	%
Índice de plasticidad	28%	%
Tamaño máximo	¾"	"
Tamaño máximo nominal	½"	"
Clasificación AASHTO	A-7-6 (15)	
SUCS	CL - arcilla limosa	
RESULTADOS MUESTRA – PATRON		
Límite líquido	44%	
Límite plástico	16%	
Índice de plasticidad	28%	
Resultados de Proctor		

Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.737	g/cm ³
Optimo contenido de humedad	12,00%	%
Método de compactación		
95% Máxima densidad seca	1.650 g/cm ³	g/cm ³
95% Máxima densidad seca	1.564 g/cm ³	g/cm ³
Resultados del CBR		
CBR al 100% del MDS a 1''	3,20%	%
CBR al 95% del MDS a 1''	2,60%	%
CBR al 90% del MDS a 1''	2,10%	%

3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los mecanismos de recolección de información ambiental consisten en un proceso dirigido a la validación de teorías e hipótesis. Para ello, se emplean métodos, técnicas e instrumentos específicos que permiten obtener datos empíricos sobre el fenómeno estudiado. (32)

Observación: Esta técnica implica el examen directo y sistemático de las condiciones y cambios en el suelo arcilloso durante y después de la adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9%. La observación en este estudio se centra en identificar visual y físicamente las alteraciones en las propiedades físico-mecánicas del suelo, como la textura, cohesión, y resistencia a la compresión, entre otras. Esta técnica permite al investigador recoger datos empíricos de primera mano sobre el impacto del cemento en la estabilización y mejora del suelo, asegurando que la evaluación de los resultados sea precisa y directamente relacionada con los objetivos de la investigación.

Análisis documental: Esta técnica consiste en la revisión crítica y sistemática de literatura y documentos existentes relacionados con el tema de estudio, incluyendo investigaciones previas, normativas técnicas, guías de ingeniería civil, y estudios sobre la estabilización del suelo con aditivos como el cemento Portland. El análisis documental en el contexto de esta tesis tiene como objetivo fundamentar teóricamente

el estudio, proporcionar un marco de referencia para comparar los resultados obtenidos y ayudar a entender las implicaciones prácticas y teóricas de la adición de cemento Portland tipo IP en las propiedades del suelo. Esta técnica permite identificar brechas en el conocimiento existente, justificar la relevancia de la investigación y apoyar la interpretación de los datos recopilados a través de la observación.

En la Tabla 10 se aprecia el suelo arcilloso ligero arenoso menos favorable sin el uso de cemento portland tipo IP y con el uso de cemento portland tipo IP, en este caso con el uso de 3%, 6% y 9%.

Tabla 10

Clasificación e Identificación del suelo Arcilloso ligero Arenoso más desfavorable

Porcentaje de Aditivo	0%		
Estabilizador			
Calicata	Ca 1	Ca 2	Ca 3
Muestra	Mu 1	Mu 2	Mu 3
ENSAYO EN CADA UNA DE LAS MUESTRAS PARA IDENTIFICAR EL SUELO MENOS FAVORABLE			
Contenido de Humedad	C.H. 1	C.H. 2	C.H. 3
Análisis Granulométrico	A.G. 1	A.G. 2	A.G. 3
Límite Líquido	L.L. 1	L.L. 2	L.L. 3
Límite Plástico	L.P. 1	L.P. 2	L.P. 3
Suelo menos favorable	Ca-Mu		
Subtotal de Ensayos	12		

Una vez identificado el suelo arcilloso ligero arenoso con las propiedades menos favorables, se llevará a cabo un proceso de mejoramiento mediante la estabilización con cemento portland tipo IP. Se analizarán diferentes porcentajes de cemento (3%, 6% y 9%) y se evaluará la efectividad a través de los ensayos de laboratorio detallados en la

Tabla 11. Dicha tabla muestra los resultados obtenidos para el suelo arcilloso con las características más desfavorables.

Tabla 11

Ensayos de laboratorio para suelo arcilloso ligero arenoso más desfavorable

Calicata	Ca			
Muestra	Mu			
Porcentaje de Aditivo	0%	3%	6%	9%
Estabilizados				
Tipos de Ensayos necesarios para comprobar la Estabilización				
Límite Líquido	0	L.L. 5	L.L. 6	L.L. 7
Límite Plástico	0	L.P. 5	L.P. 6	L.P. 7
CBR	C.B.R.1	C.B.R.2	C.B.R.3	C.B.R.4

3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos

Según Hernández, Fernández y Baptista (28) para medir y clasificar variables, contamos con diversos instrumentos. En algunos casos, se pueden usar varias técnicas de manera simultánea.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante fichas de observación, en las cuales se registraron los resultados de los ensayos realizados. Dichos ensayos se ajustan a las normas establecidas en el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

- a) Límite plástico.
- b) Límite líquido.
- c) Proctor modificado.
- d) CBR.

3.2.5. Recolección de los Datos

Inicialmente, se recurrió al análisis documental para recopilar información relevante sobre la estabilización de suelos. Se consultaron normativas que rigen la ejecución de los ensayos y se examinaron los requisitos mínimos que debe cumplir el suelo.

Ficha de recolección de datos: Este instrumento es una herramienta estructurada diseñada para recopilar de manera sistemática y organizada la información específica relacionada con las variables de estudio. En el contexto de la tesis, la ficha de recolección de datos se utiliza para documentar detalladamente las características físico-mecánicas del suelo antes y después de la adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6% y 9%. Este instrumento facilita la captura de datos cuantitativos y cualitativos de manera estandarizada, incluyendo resultados de ensayos de laboratorio, mediciones de campo y otras observaciones relevantes para el estudio. La estructura de la ficha está alineada con los objetivos de investigación, permitiendo una comparación efectiva entre las muestras y asegurando la integridad de los datos recopilados.

Guía de observación: Se trata de un conjunto de criterios o directrices establecidos que orientan al investigador en el proceso de observación sistemática de los fenómenos de estudio. Para esta tesis, la guía de observación especifica los aspectos clave a ser monitoreados durante la aplicación del cemento Portland tipo IP al suelo arcilloso y las subsiguientes reacciones físicas y mecánicas. Este instrumento asegura que las observaciones realizadas sean consistentes, relevantes para los objetivos de la investigación y centradas en identificar los cambios y mejoras en las propiedades del suelo. La guía de observación ayuda a mantener un enfoque disciplinado en la recopilación de datos, minimizando el sesgo del observador y mejorando la calidad y fiabilidad de la información recogida.

Las fichas de observación Tabla 12 fueron las herramientas utilizadas para registrar los datos de los ensayos, realizados según las normas del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 12

Formato de Muestras

Ficha para extracción de Muestras
UC
Tesis: Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso de la Sub rasante de la av. Wiracocha distrito de Sicuani – Provincia de Canchis – Cusco. Atraves del uso de Cemento Portland Tipo IP.
Ubicación:
Progresiva:
Lado de calzada:
Calicata N°:
Profundidad de calicata:
Peso de muestra extraído:
Anotaciones / observaciones

Nota: Formato Para Extracción de Muestras (Elaboración propia)

3.2.6. Toma de Datos

En la Tabla 13 se observa el formato que se va utilizar en la toma de datos de la densidad de campo in situ.

Tabla 13

Toma de Datos

Ficha de toma de datos densidad de campo in situ
UC
Tesis: Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso de la Sub rasante de la av. Wiracocha distrito de Sicuani – Provincia de Canchis – Cusco. Atraves del uso de Cemento Portland Tipo IP.
Densidad N°:

Progresiva:
Nivel sub rasante:
Peso frasco + cono + arena:
Peso residual + frasco + arena:
Peso de grava ret. Tamiz B5 ¾”:
Anotaciones / observaciones
<i>Nota:</i> Formato de Toma de datos de Densidad (Elaboración propia)

En la Tabla 14 se aprecia el formato que se utilizara para los datos de la muestra de humedad natural.

Tabla 14

Contenido de Humedad Natural

Ficha de la muestra de Humedad Natural
UC
Tesis: Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso de la Sub rasante de la av. Wiracocha distrito de Sicuani – Provincia de Canchis – Cusco. Atraves del uso de Cemento Portland Tipo IP.
N° envase:
Peso envase + suelo húmedo:
Peso envase + suelo seco:
Peso de agua:
Peso del envase:
Peso del suelo seco:
Contenido de humedad:
Anotaciones / observaciones:

Nota: Formato para el procesamiento del contenido de humedad Natural (Elaboración propia)

En la Tabla 15 se observa el formato que se va utilizar para los ensayos de limite líquido.

Tabla 15

Contenido Límite Líquido

Ficha de limite liquido
UC

Tesis: Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso de la Sub rasante de la av. Wiracocha distrito de Sicuani – Provincia de Canchis – Cusco. Atreves del uso de Cemento Portland Tipo IP.

N° envase:

Envase + suelo húmedo:

Envase + suelo seco:

Agua:

Peso del envase:

% de humedad:

N° de golpes:

Anotaciones / observaciones:

Nota: Formato para el procesamiento del contenido de limite Liquido (Elaboración propia)

A continuación, en la Tabla 16 se muestra el formato que se va utilizar para los ensayos de límite plástico.

Tabla 16

Contenido Límite Plástico

Ficha de límite plástico

UC

Tesis: Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Suelo Arcilloso de la Sub rasante de la av. Wiracocha distrito de Sicuani – Provincia de Canchis – Cusco. Atreves del uso de Cemento Portland Tipo IP.

N° envase:

Envase + suelo húmedo:

Envase + suelo seco:

Agua:

Peso del envase:

Peso del suelo seco:

% de humedad:

Anotaciones / observaciones:

3.2.7. Validez

Según Arias (2020), “la validez, como el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende validar”

En ingeniería civil, la validez de los resultados se asegura mediante la supervisión de expertos. Un ingeniero civil colegiado y habilitado validó los ensayos y resultados de este estudio, realizado en el laboratorio GEOMET S.A.C. Por tanto, no es necesario un análisis de validez de instrumentos.

Este estudio de investigación se realizó en el laboratorio GEOMET S.A.C.

INGENIEROS ASOCIADOS. (Laboratorio particular)

Laboratorio de estudio de mecánica de suelos y pavimentos certificado y habilitado para realizar trabajos en estudios de mecánica de suelos.

La validez y la confiabilidad también lo precisa como una medición de una variable que es evaluada en un instrumento.

En la Tabla 17 apreciamos los estándares de validez.

Tabla 17

Rango de Validez.

Rango de validez	Interpretación
0.81-1.00	Muy alta
0.61- 0.80	Alta
0.41- 0.60	Medio
0.21 – 0.40	Baja
0.00 – 0.20	Muy baja

3.2.8. Confiabilidad

En la Tabla 18 se observa los rangos de confiabilidad

Tabla 18

Rangos de Confiabilidad

Rango de confiabilidad	Interpretación
0.81 – 1.00	Muy alta
0.61 – 0.80	Alta
0.41 – 0.60	Medio
0.21 – 0.40	Baja
0.00 – 0.20	Muy baja

3.2.9. Aspectos Éticos

Se empleó las normas ISO 690 para las citas y referencias, garantizando la exactitud de la información. La experimentación, realizada con cemento portland tipo IP y suelos arcillosos, se desarrolló en varias etapas, siguiendo los lineamientos del Manual de Carreteras del MTC y las normas ASTM.

A continuación, se menciona las etapas del procedimiento.

a) Etapa 1: Exploración y extracción de muestras de suelo arcilloso.

Se realizó la verificación de la prolongación Wiracocha para posteriormente solicitar autorización a las autoridades y miembros vecinales del barrio.

Identificando la zona de estudio, se procedió a la extracción de muestras de suelo de las calicatas excavadas con maquinaria excavadora en la zona de estudio prolongación Wiracocha – Sicuani – región Cusco.

Estas en bolsas de plástico y protegidas en saquillos de arroz, las muestras adquiridas fueron de 100 kg.

En la Figura 14 apreciamos el lugar exacto de donde extraemos las muestras para cada calicata.

Figura 14

Exploración y extracción de muestras de suelo arcilloso



Nota: Extracción de muestras de suelo Arcilloso (Elaboración propia)

b) Etapa 2: Estudio de mecánica de suelos.

Se procedió a la ejecución de un estudio geotécnico con el objetivo de caracterizar las propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo. El estudio comprendió la realización de ensayos básicos de laboratorio, conforme a las especificaciones del manual de ensayos de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

- Análisis granulométrico
- Contenido de humedad natural
- Límites de Atterberg
- Proctor modificado

Para obtener información crucial sobre el suelo, se realizaron ensayos para determinar el límite líquido, el límite plástico y la granulometría. Estos ensayos se ejecutaron rigurosamente, siguiendo las normas ASTM D-2487 (clasificación SUCS), ASTM D-3282 (clasificación AASHTO) y ASTM D-422 (granulometría).

- c) Etapa 3: Adición, combinación y dosificación de cemento portland tipo IP a las muestras de suelo arcilloso.

Tras analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso en el estudio de mecánica de suelos, se procedió a la mezcla del cemento portland IP con el material arcilloso. Se combinaron diferentes porcentajes de cemento (3%, 6% y 9%) en relación al peso de las muestras de suelo.

- d) Etapa 4: Ensayos de laboratorio con las muestras combinadas con el cemento portland IP.

Se ejecutaron tres ensayos Proctor modificado, variando la cantidad de cemento portland IP (3%, 6% y 9%), con el objetivo de analizar las variaciones en la densidad máxima y la humedad óptima. Posteriormente, se procedió a la realización de tres ensayos CBR utilizando las muestras con los diferentes porcentajes de cemento.

- e) Etapa 5: Ensayos de campo in – situ con las muestras combinadas con cemento portland IP.

Se compactaron tres áreas de 1m x 1m x 0.20m con un apisonador manual. Cada área contenía una muestra de suelo con diferentes porcentajes de cemento (3%, 6% y 9%). La compactación se controló para alcanzar las densidades secas máximas y humedades óptimas obtenidas en el ensayo Proctor modificado. Finalmente, se evaluó el grado de compactación de las superficies mediante el ensayo de densidad de campo in situ con cono de arena calibrada.

- f) Etapa 6: Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

La información recopilada durante los trabajos de laboratorio y campo, incluyendo los resultados de cada espécimen y muestra con adiciones de cemento portland IP, fue

procesada en gabinete. Este procesamiento consistió en el desarrollo de cálculos y la interpretación de los resultados para la verificación de la hipótesis.

3.3. Métodos de análisis de datos

Para facilitar la comprensión y el análisis de los datos, se elaboraron gráficos utilizando el software Microsoft Excel. Los resultados se visualizan mediante una prueba de regresión que relaciona la resistencia a la compresión con el porcentaje de adición de cemento.

En la Tabla 19 se observa los ensayos de laboratorio que se realizará para la investigación.

Tabla 19

Ensayos de Mecánica de Suelos Necesarios

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Contenido de Humedad	MTC E 108 ASTM D 2216 AASHTO T 265	“Método operativo para determinar el contenido de humedad de un suelo”. “El contenido de humedad de un suelo, es la relación entre el peso del agua presente en la masa de suelo y el peso de las partículas sólidas del mismo”.
Análisis Granulométrico	MTC E 107 ASTM D 422 AASHTO T 88	“Método para determinar de manera cuantitativa la distribución del tamaño de las partículas de un suelo”. “También permite determinar los porcentajes de suelo que pasan los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el tamiz 75 μm (No. 200)”.

Limite liquido	MTC E 110 ASTM D 4318 AASHTO T 89	“Es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido”.
Limite Plástico	MTC E 111 ASTM D 4318 AASHTO T 90	“Es la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desintegren”.
CBR	MTC E 132 ASTM D 1883 AASHTO T 193	“Método de prueba para determinar un índice de resistencia de los suelos, denominado valor de la relación de soporte, conocido como CBR (California Bearing” Ratio). “El ensayo se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y de afirmado de un pavimento”.

Nota: Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014)

En la Tabla 20 se aprecia la cantidad de ensayos de laboratorio que se va realizar para la investigación.

Tabla 20

Ensayos a realizar en la investigación

Ensayos	Patrón	Experimental			Total
		3%	6%	9%	
Granulometría	3	3	3	3	12
Límites de Consistencia	3	3	3	3	12
Equivalente de arena	3	3	3	3	12
Humedad	3	3	3	3	12
Permeabilidad	3	3	3	3	12
Compactación	3	3	3	3	12
Capacidad de Soporte	3	3	3	3	12
Total	21	21	21	21	84

Nota: Procesamiento de Ensayos a Realizar (Elaboración Propia)

El procedimiento para la recolección de datos se dio de la siguiente manera:

- a) **Muestreo de suelos.** Es el muestreo e investigación de suelos con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos. (MTC, 2014)

La extracción de la muestra de suelo se realiza por medio de una calicata de profundidad mínima de 1.60 m de la prolongación Wiracocha, del distrito de Sicuani, en el departamento de Cusco.

En la Figura 15 se observa la excavación y extracción de muestras de la calicata 1.

Figura 15

Muestras Representativas



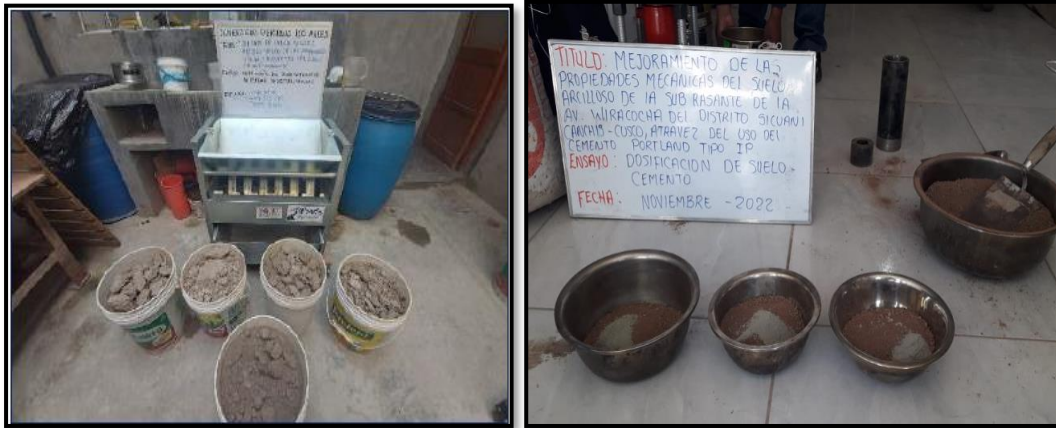
Nota: Excavación y extracción de muestras de la zona de estudio (Elaboración Propia)

Para obtener una muestra representativa, se utiliza el método de cuarteo mecánico. La muestra de campo se coloca en la tolva y se distribuye uniformemente para que caiga en cantidades iguales en dos recipientes. El contenido de uno de los recipientes se vuelve a pasar por la tolva las veces que sea necesario hasta obtener la cantidad deseada para el ensayo. La muestra restante se reserva para futuras pruebas (MTC, 2014).

En la Figura 16 se observa el procesamiento y cuarteo de las muestras.

Figura 16

Procesamiento de muestras



b) Contenido de Humedad

La norma MTC E.108 establece el método para determinar el contenido de humedad del suelo, definido como la proporción, en porcentaje, entre el peso del agua presente en una muestra de suelo y el peso de sus partículas sólidas. Es crucial realizar este análisis inmediatamente después del muestreo, sobre todo si se emplean contenedores que puedan corroerse, como tubos de acero de pared delgada o latas de pintura, así como bolsas plásticas. (33)

c) Referencias Normativas

Para determinar el contenido de agua en el suelo y la roca, se siguieron rigurosamente los procedimientos establecidos en la norma ASTM D 2216, complementada con la Norma Técnica Peruana NTP 339.127 MTC E.108. Estas normas garantizan la precisión y confiabilidad en la medición de la humedad, un parámetro crucial en el análisis geotécnico. (34)

d) Equipos y materiales

El equipo necesario para la determinación de la humedad del suelo incluye: un horno de secado termostáticamente controlado con tiro forzado, capaz

de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C; balanzas con la capacidad y precisión adecuadas; utensilios para manipular recipientes calientes, como guantes, tenazas o sujetadores; y otros utensilios auxiliares como cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo y divisores de muestras.

e) Evaluación de las muestras

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89, Grupos de suelos B, C o D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga o minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

Procedimiento:

El procedimiento comienza con la determinación y registro de la masa de un contenedor limpio y seco, incluyendo la tapa si se utiliza. A continuación, se coloca la muestra húmeda en el contenedor, se asegura la tapa si es necesario y se determina el peso del conjunto utilizando una balanza adecuada al peso de la muestra. Este valor se registra cuidadosamente.

En el siguiente paso, se retira la tapa (si se utilizó) y se coloca el contenedor con la muestra húmeda en el horno. El material se seca hasta alcanzar una masa constante, manteniendo la temperatura del horno a 110 ± 5 °C, a menos que se especifique lo contrario. El tiempo de secado puede variar según el

tipo de material, tamaño de la muestra, características del horno y otros factores. En general, un secado de 12 a 16 horas suele ser suficiente.

Una vez que el material se ha secado a peso constante, se retira el contenedor del horno y se coloca la tapa si se utilizó. Se deja enfriar el conjunto a temperatura ambiente hasta que pueda manipularse con comodidad y la balanza no se vea afectada por corrientes de convección o calor. Finalmente, se determina el peso del contenedor y el material seco utilizando la misma balanza y se registra el valor obtenido.

Ecuación 5. Cálculo de Humedad.

$$W = \frac{PESO\ DE\ AGUA}{PESO\ DE\ SUELO\ SECADO\ EN\ HORNO} \times 100$$

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

Donde:

w: es el contenido de humedad, en porcentaje

M c w s: es el peso del contenedor más en suelo húmedo, en gramos

M c s: es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

Mc: es el peso del contenedor, en gramos

M w: es el peso del agua, en gramos

Ms: es el peso de las partículas sólidas, en gramos.” (MTC E 108, 2005)

En la Figura 17 se observa el procesamiento del ensayo del contenido de humedad.

Figura 17

Contenido de humedad



f) Análisis Granulométrico

La Norma Técnica Peruana establece el método para realizar el análisis granulométrico de suelos, ya sea mediante tamizado, sedimentación o una combinación de ambos. Para llevar a cabo este análisis, se requieren ciertos equipos y accesorios.

En primer lugar, se necesitan balanzas con una sensibilidad de 0.01 gramos para pesar el material fino que pasa la malla N° 10 (2.0 mm), y una balanza con sensibilidad del 0.1% de la masa de la muestra para el material más grueso retenido en dicha malla. También se requiere un agitador mecánico con un motor eléctrico que gire a una velocidad mínima de 10,000 rpm sin carga.

El análisis granulométrico implica el uso de una serie de tamices de malla cuadrada que cumplan con la norma ASTM E 11. Un juego completo incluye tamices de diferentes aberturas, como se detalla en la tabla 21. Finalmente,

se necesitan herramientas como bandejas, cepillos y brochas para manipular y limpiar los tamices y las muestras.

Tabla 21

Dimensiones de Tamices

Tamices	Designación ASTM
75.0 mm	(3 pulg.)
50.0 mm	(2 pulg.)
37.5 mm	(1 ½ pulg.)
25.0 mm	(1 pulg.)
19.0 mm	(¾ pulg.)
9.50 mm	(3/8 pulg.)
4.75 mm	(N°4)
2.00 mm	(N°10)
850 µm	(N°20)
425 µm	(N°40)
250 µm	(N°60)
106 µm	(N°140)
75 µm	(N°200)

Nota: (NTP 339.128) (35)

Muestra

El proceso comienza con el secado del suelo al aire libre. Una vez seco, se cuartea para obtener una muestra representativa, como si estuviéramos buscando un tesoro escondido entre las partículas. Siguiendo la norma NTP 339.090, se prepara la muestra para el análisis mecánico, dividiéndola en dos partes: una con partículas gruesas (retenidas en el tamiz 2.00 mm) y otra con partículas finas (que pasan el tamiz).

La cantidad de suelo seco que se utiliza para el análisis depende del tamaño máximo de las partículas y de la cantidad retenida en el tamiz 2.00 mm. De la porción de suelo fino, se toman aproximadamente 115 gramos si el suelo

es arenoso, como si fuera una taza de arena fina. Si el suelo es limoso o arcilloso, se toman 65 gramos, como una pizca de polvo mágico. (35)

Procedimiento (Análisis por tamizado de la porción retenida en el tamiz

2.00 mm (N° 10)

- 1) **Preparación de la muestra:** La porción de material retenida en el tamiz 2.00 mm (N° 10) se divide en fracciones más pequeñas utilizando una serie de tamices de diferentes tamaños. Estos tamices pueden variar según las características de la muestra o las especificaciones del material.
- 2) **Tamizado:** Se realiza con movimientos laterales y verticales del tamiz, acompañados de suaves golpeteos para asegurar que la muestra se mueva de forma continua sobre la superficie. No se debe intervenir manualmente en el proceso.
- 3) **Pesaje y cálculo:**
 - **Determinación de masa:** Se pesa cada fracción con las balanzas indicadas. La suma de las masas retenidas en los tamices y la porción que pasa el último tamiz debe ser similar a la masa original de la muestra.
 - **Porcentaje acumulado:** Para calcular el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, se divide la masa total que pasa por el tamiz entre la masa total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.
 - **Porcentaje en cada tamiz:** Para determinar el porcentaje que pasa en cada tamiz, se utiliza una ecuación específica. (Se necesita la ecuación para completar este paso).

Ecuación 6. Cálculo para determinar el % acumulado.

$$\% \text{ PASA} = \frac{\text{PESO QUE PASA EN EL TAMIZ}}{\text{PESO TOTAL DE MUESTRA}}$$

En la Figura 18 se observa el procesamiento del ensayo de granulometría.



Figura 18

Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas

Nota: Ensayo y procesamiento de granulometría (gradación) de acuerdo con la norma NTP 339.128. (35)

g) Determinación de Límite Líquido

El contenido de humedad, en porcentaje, que marca la transición entre el estado líquido y plástico del suelo se conoce como límite líquido. Se determina mediante un ensayo que consiste en dejar caer una copa con una muestra de suelo desde una altura de 1 cm, 25 veces a una velocidad de dos caídas por segundo. Se considera que el límite líquido se alcanza cuando el surco que separa la muestra en dos mitades se cierra a lo largo de 13 mm. Este método es clave en sistemas de clasificación en ingeniería, como SUCS y AASHTO, para caracterizar los suelos de grano fino. (35)

Equipos y Materiales:

- **Recipiente para Almacenaje:** Una vasija de porcelana con un diámetro aproximado de 115 mm, ideal para contener la muestra de suelo.
- **Aparato del límite líquido (o de Casagrande):** Este dispositivo, diseñado específicamente para la prueba, permite la caída controlada de la copa con la muestra.
- **Acanalador:** Una herramienta con dimensiones precisas que permite realizar un surco definido en la muestra de suelo.
- **Balanza:** Con una sensibilidad de 0.01 g, asegura la precisión en la medición de la masa de la muestra.
- **Espátula:** De hoja flexible, con dimensiones de 75 a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho, facilita la manipulación y mezcla del suelo.

Muestra:

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (Nº 40). (35)

Procedimiento:

- 1) Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca. Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea.
- 2) Se procede a depositar una muestra de suelo en la copa, asegurando una distribución uniforme y una superficie nivelada. Posteriormente, se utiliza el acanalador para generar un surco que divida la masa de suelo en dos secciones.

- 3) Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes a una velocidad de dos golpes por segundo que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm., Cuando se cierre la ranura, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad. Este proceso se repite nuevamente con tres muestras más para lograr cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad. Así como se observa en la Figura 19, el método de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice

Figura 19

Método de prueba estándar para Limite Liquido, limite plástico e índice de plasticidad



Nota: De acuerdo con la norma NTP 339.129 – ADTM (35)

h) Determinación de Límite Plástico e Índice Plástico

La determinación del límite plástico de un suelo se realiza en laboratorio mediante la formación de rollitos de suelo de 3.2 mm de diámetro. El límite plástico (L.P.) se establece como el contenido de humedad mínimo al cual estos rollitos pueden formarse sin desmoronarse al ser rodados sobre una superficie lisa. El índice de

plasticidad (I.P.) se obtiene a partir del límite plástico y el límite líquido del suelo.
(35)

Equipos y Materiales:

- La Espátula: Como una varita mágica, esta herramienta de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm de longitud, nos permite mezclar la tierra con agua y crear la masa perfecta para el ensayo.
- El Recipiente: Un cuenco mágico de porcelana, de unos 115 mm de diámetro, donde guardamos la muestra de suelo, como un tesoro preciado.
- La Superficie de Rodadura: Un espejo mágico de vidrio esmerilado, donde la tierra se transforma en delicados cilindros.
- La Balanza: La balanza, con la precisión de 0.01 g, nos revela el peso exacto de la muestra, un dato crucial para calcular el límite plástico.

Muestra:

Para determinar el límite plástico (LP) de un suelo, se inicia el proceso seleccionando una muestra de aproximadamente 20 gramos. Esta muestra debe haber pasado previamente por el tamiz N° 40 (426 mm), el mismo utilizado en la preparación del ensayo de límite líquido.

A continuación, se procede a amasar la muestra con agua destilada. El objetivo es lograr una consistencia que permita moldear con facilidad una esfera de suelo. De esta esfera, se extrae una porción de entre 1.5 y 2.0 gramos, la cual será utilizada para el ensayo de límite plástico, siguiendo los lineamientos de la norma. (NTP 339.129)

Procedimiento:

Con la porción de suelo previamente pesada, se da inicio a la fase de moldeado.

- 1) Primero, se toma la mitad de la muestra y se moldea con cuidado hasta obtener una forma elipsoidal, similar a un pequeño balón de rugby.
- 2) A continuación, se rueda este elipsoide sobre la superficie lisa – generalmente un vidrio esmerilado – con la yema de los dedos. La presión ejercida debe ser la justa y necesaria para ir formando un cilindro delgado y uniforme.
- 3) El proceso de rolado se repite varias veces. Si el cilindro alcanza un diámetro de 3.2 mm (1/8 de pulgada) sin desmoronarse, se vuelve a formar el elipsoide y se repite el procedimiento. El objetivo es continuar hasta que el cilindro se quiebre al llegar a dicho diámetro.
- 4) La porción de suelo que se desmorona se recolecta en un recipiente previamente pesado (vidrio de reloj o pesa-filtros). Se continúa el proceso de amasado y rolado hasta reunir aproximadamente 6 gramos de suelo. Finalmente, se determina la humedad de esta muestra siguiendo las indicaciones de la norma MTC E 108.
- 5) Para completar el ensayo, se repite todo el procedimiento con la otra mitad de la masa de suelo.

Cálculos:

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (NTP 339.129).

Ecuación 7. Cálculo de Índice de Plasticidad

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

- L.L.: límite líquido
- L.P.: límite plástico
- L.L. y L.P.: son números enteros

En la Figura 20 se aprecia el procesamiento del método de prueba estándar para el límite plástico e índice de plasticidad.

Figura 20

Método de prueba estándar para límite líquido, plástico e índice de plasticidad



Nota: Procesamiento de ensayo de límite plástico de suelos de acuerdo con la norma NTP339.129 – ASTM D4318-17e1

Ensayo C.B.R.

El ensayo CBR, también conocido como ensayo de relación de soporte de California, es una prueba que se utiliza para evaluar la resistencia de los suelos compactados, ya sea en laboratorio o en muestras inalteradas del terreno. Este índice es fundamental en

el diseño de pavimentos flexibles, ya que permite determinar la capacidad del suelo para soportar las cargas del tráfico. (24)

- 1) Preparación de la muestra: Se compacta la muestra de suelo en un molde cilíndrico de dimensiones específicas, bajo condiciones controladas de humedad y densidad.
- 2) Saturación (opcional): En algunos casos, se satura la muestra sumergiéndola en agua durante un periodo determinado, para simular condiciones de humedad extremas.
- 3) Penetración: Se coloca la muestra compactada en la máquina de ensayo CBR y se aplica una carga axial mediante un pistón de acero a una velocidad constante.
- 4) Medición de la carga: Se registran las cargas necesarias para lograr penetraciones del pistón de 2.54 mm (0.1 pulgadas) y 5.08 mm (0.2 pulgadas).
- 5) Cálculo del CBR: Se calcula la relación entre la carga unitaria del suelo ensayado y la carga unitaria de un material estándar de referencia (piedra triturada) para las mismas penetraciones. El resultado se expresa en porcentaje.

Equipos y Materiales:

Para llevar a cabo este ensayo, se requiere un conjunto de herramientas especializadas que incluye:

- 1) **Prensa:** Una poderosa prensa, similar a las utilizadas en ensayos de compresión, se emplea para aplicar una fuerza controlada sobre la muestra de suelo. la capacidad debe ser de al menos 44.5 kN, con una precisión de 44 N.
- 2) **Molde:** Un molde cilíndrico de metal, con dimensiones precisas, sirve como contenedor para la muestra de suelo durante la compactación. Se complementa con un collar adicional y una placa base perforada.

- 3) **Disco espaciador:** Este disco metálico se coloca en el molde durante la compactación, creando un falso fondo que facilita el proceso.
- 4) **Pisón de compactación:** Similar al utilizado en el ensayo Proctor Modificado, asegura la compactación uniforme de la muestra.
- 5) **Aparato medidor de expansión:** Compuesto por una placa perforada con un vástago ajustable, un trípode con un deformímetro y pesas anulares, permite medir con precisión la expansión del suelo.
- 6) **Pistón de penetración:** Un pistón metálico con un diámetro específico se utiliza para penetrar la muestra y medir la resistencia.
- 7) **Diales:** Dos diales de alta precisión, con un recorrido mínimo de 25 mm, registran las mediciones con una resolución de 0.025 mm.
- 8) **Tanque:** Un tanque con suficiente capacidad permite la inmersión de los moldes en agua para controlar la humedad del suelo.
- 9) **Estufa:** Una estufa termostáticamente controlada, que mantiene una temperatura constante de 110 ± 5 °C, se utiliza para secar las muestras.
- 10) **Misceláneos:** Completan el equipo tamices, papel filtro, espátulas, enrasador y pipeta, elementos esenciales para la preparación y manipulación de las muestras.

Procedimiento:

- Preparación de la muestra.

Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en el contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación.”

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E.108. (33)

- Elaboración de especímenes.

Se pesa el molde con la base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en la interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.

La prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar el comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 56, 25 y 10 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se

mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E.108. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base.

Inmersión:

Se procede a simular las condiciones de carga que soportará el suelo en la aplicación real. Para ello, se coloca una placa perforada sobre la muestra invertida, y sobre ésta, se añaden anillos de peso hasta alcanzar una sobrecarga que simule la presión ejercida por las capas de material que se colocarán encima. Esta sobrecarga se calcula con precisión, aproximándose al peso real con un margen de error menor a 2.27 kg. Es importante destacar que la sobrecarga total nunca será inferior a 4.54 kg, asegurando así una simulación realista.

Para evaluar el efecto del agua en el suelo, se procede a medir el hinchamiento. Utilizando un trípode con un deformímetro, se registra la altura inicial de la muestra. A continuación, se sumerge el molde en un tanque con agua, manteniendo la sobrecarga en el lugar. El agua tiene libre acceso a la muestra, tanto por la parte superior como por la inferior, y se mantiene a un nivel constante durante 96 horas (4 días). Transcurrido este tiempo, se vuelve a medir la altura con el deformímetro para determinar el grado de hinchamiento.

Una vez finalizado el periodo de inmersión, se retira el molde del tanque y se elimina cuidadosamente el agua acumulada en la superficie, manteniendo la placa y la sobrecarga en la posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos para eliminar el exceso de agua. Finalmente, se retira la sobrecarga y la placa perforada, se pesa la muestra y se procede a la fase de penetración, donde se determinará la resistencia del suelo.

Penetración:

Con el fin de replicar las condiciones reales del terreno, se aplica una sobrecarga que simule el peso del pavimento que soportará el suelo. Esta sobrecarga se ajusta con precisión, con un margen de error de tan solo 2.27 kg, pero nunca será inferior a 4.54 kg, garantizando así la fiabilidad del ensayo.

Para registrar con exactitud la penetración del pistón en la muestra, se instala un dial medidor. Se aplica una pequeña carga inicial de 50N (5 kg) para asegurar un contacto firme entre el pistón y la muestra. A continuación, se ponen a cero las agujas de los diales medidores, tanto el del anillo dinamométrico, que mide la carga aplicada, como el que controla la penetración.

Comienza entonces la prueba de penetración. Se aplica la carga sobre el pistón mediante un gato o mecanismo de prensa, a una velocidad constante de 1.27 mm (0.05 pulgadas) por minuto. En prensas manuales que no permiten controlar la velocidad automáticamente, se utiliza un deformímetro y un cronómetro para asegurar la precisión del ensayo. Durante la prueba, se registran las lecturas de la carga para diferentes penetraciones del pistón, siguiendo los rangos establecidos en la tabla 22.

Tabla 22*Penetración*

Milímetros	Pulgada
12,70	0,500
10,16	0,400
7,62	0,300
5,08	0,200
3,81	0,150
3,17	0,125
2,54	0,100
1,90	0,075
1,27	0,050
0,63	0,025

Nota: MTC E 132

La forma de la curva de resistencia puede definirse con mayor precisión mediante lecturas adicionales durante la prueba, aunque esto no es estrictamente necesario para obtener el valor CBR. Al finalizar el ensayo, se desensambla el molde y se extrae una muestra de la parte superior, cerca del área de penetración, para analizar el contenido de humedad.

Cálculos:

Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con la humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

Ecuación 8. Adición del % de agua.

$$\% \text{ DE AGUA AÑADIR} = \frac{H-h}{100+h} \times 100$$

Donde:

H: humedad prefijada

h: humedad natural

En la figura: 21 se observa el ensayo de C.B.R.

Figura 21

Método de Prueba Estándar para California Bering Ratio (CBR)



Nota: Suelos compactados en laboratorio de acuerdo norma (NTP 339.141 – ASTM D1557- 12e1. (34)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Localización del Área de Estudio

El área de estudio de esta investigación se encuentra en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco. El análisis se centra en un tramo de 140 metros de una calle sin pavimentar ubicada en la Asociación Techo Obrero.

Las coordenadas geográficas de la zona son:

- Latitud Sur: 14° 16' 9.98" S (-14.2694400)
- Longitud Oeste: 71° 13'34" W (-71.226100)
- Altitud: 3548,75 m s. n. m.

Características de la zona.

El área abarca un tramo de 140 metros de longitud, cuyo estado actual se caracteriza por la ausencia de pavimento y un terreno de fundación con irregularidades en la compactación, debido a la ausencia de un adecuado sistema sanitario, es por ello que los habitantes optaron por tener pozos de arrastre hidráulico. También existe contaminación por los desechos correspondientes a construcciones en las zonas aledañas y se evidencia la presencia de polvo constante, lo que perjudica la salud de las personas que habitan en la prolongación Wiracocha.

En la Figura 22 se observa la zona de estudio prolongación Wiracocha en el distrito de Sicuani – Cusco.

Figura 22

Vista de la Zona en Estudio



4.1.1. Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información

Propiedades Físico-mecánicas de la Sub Rasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani – Cusco.

El suelo es heterogéneo de naturaleza fina, mixta cohesiva y friccionante, presenta valores bajos de Capacidad Relativa de Soporte.

En la Figura 23 se aprecia los resultados del ensayo de granulometría en la C-1

Figura 23

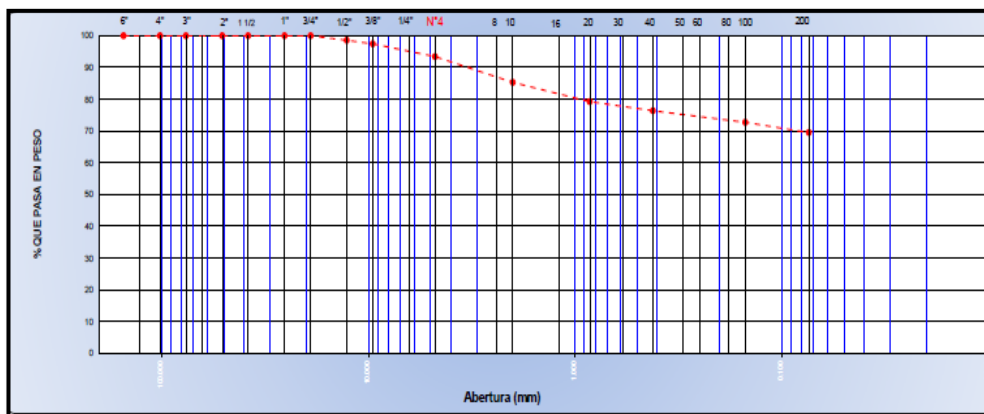
Resultados del ensayo de granulometría C -1

TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP											
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO:		CUSCO		PROVINCIA:		CANCHIS		DISTRITO:	SICUANI	
SOLICITANTE:	GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA										
DATOS DE MUESTRA											
Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION						Fecha:		Diciembre del 2022		
Ubicación:	AV. WIRACOCHA						Calicata:		C-1 -		
Estructura:	- Lado: -						Prof. (m):		-		
Localización:	- Elevación: -						Hecho por:		J.C.E.		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA	Material sin Especificación		Descripción			
						MIN	MAX				
8"	203.200										
6"	152.400										
4"	101.600										
3"	76.200										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400										
3/4"	19.000				100.0						
1/2"	12.700	19	1.5	1.5	98.5						
3/8"	9.520	14	1.1	2.6	97.4						
1/4"	6.350										
Nº 4	4.750	52	4.0	6.6	93.4						
Nº 6	2.360										
Nº 10	2.000	104.2	8.1	14.7	85.3						
Nº 16	1.190										
Nº 20	0.850	78.4	6.1	20.8	79.3						
Nº 30	0.600										
Nº 40	0.420	37.0	2.9	23.6	76.4						
Nº 50	0.300										
Nº 60	0.250										
Nº 80	0.180										
Nº 100	0.150	47.2	3.7	27.3	72.7						
Nº 200	0.074	41.4	3.2	30.5	69.5						
Pasante		856.8	69.5	100.0							

En la Tabla 23 se aprecia ver la curva granulométrica de los ensayos realizados.

Tabla 23

Curva Granulométrica



4.1.2. Ensayos Realizados “In Situ”

Se realiza una Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento visual –manual) en los puntos de exploración mediante un perfilado minucioso, que permitió llevarse a cabo un meticuloso registro de las propiedades de los suelos presentes en cada capa del perfil del terreno. Los materiales encontrados fueron clasificados visualmente siguiendo los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, lo que permitió una caracterización precisa de la composición del terreno. (36)

4.1.3. Extracción de Muestras Representativas

Se han realizado la extracción de las muestras de suelo de acuerdo a lo establecido, realizándose la siguiente codificación: (NTP 339.159 (DIN 4094) (36)

- PE-01: Muestra inalterada/alterada en bloque: Mib-01/Mab-01
- PE-02: Muestra inalterada/alterada en bloque: Mib-02/Mab-02.
- PE-03: Muestra inalterada/alterada en bloque: Mib-03/Mab-03.

En la Tabla 24 se observa procedimiento a seguir para extraer muestras.

Tabla 24

Procedimientos de extracción de muestras

Procedimiento de extracción de muestras				
Tipo de muestra	Norma aplicable	Formas de obtener y transportar	Estado de la muestra	Características
"Muestra inalterada en bloque (Mb)"	"NTP 339.151 suelos. Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos"	Bloques	Inalterada	"Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el estado natural al momento del muestreo (aplicable solo a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente
"Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mt)"	"NTP 339.169 SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubo de pared delgada".	Tubos de pared delgada		

				cementados para permitir la obtención")
"Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)"	"NTP 339.151 suelos. Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos"	En bolsa de plástico	Alterada	"Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en el estado natural al momento del muestreo".
"Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)"	"NTP 339.151 suelos. Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos"	En lata sellada	Alterada	"Debe mantener inalterado el contenido de agua"

Nota: (Elaboración Propia.)

4.1.4. Estrato de Apoyo del Afirmado

Se realizaron (03) pozos a cielo abierto, habiéndose hallado la estratigrafía siguiente, sobre la que se apoyará el afirmado de vía

En la Tabla 25 se aprecia el perfil de estratos de suelo de las calicatas realizadas in situ.

Tabla 25

Perfil de suelos de las Calicatas realizadas in situ.

Perfil de suelos			
Pozos y/o calicatas (CA)	Caracterización de estratos		
	Estrato	Profundidad	Composición
Calicata 1	E-01	0.00 m. - 0.60 m.	Afirmado color marrón
	E-02	0.60 m. -1.50 m.	Arena arcillosa con grava (SC); color marrón.
Calicata 2	E-01	0.00 m. - 0.80 m.	Afirmado color marrón
	E-02	0.80 m. -1.80 m.	Arcilla ligera arenosa (CL); color marrón

Calicata 3	E-01	0.00 m. - 0.60 m.	Afirmado color marrón
	E-02	0.60 m. -1.50 m.	Arcilla ligera arenosa (CL); color marrón

Nota: Estratos de suelo de las calicatas realizadas in situ.

4.1.5. Parámetros Obtenidos IN SITU.

En la Tabla 26 se aprecia los parámetros obtenidos in situ de los estratos de suelo.

Tabla 26

Parámetros obtenidos in situ

Pozos y/o Caracterización de estratos			
calicatas	Estrato	Profundidad	CBR (california bearing ratio) de la sub rasante (%)
Cal	E-02	0.60m.-150m.	7.77
Ca2	E-02	0.80m.-1.80m.	6.70
Ca3	E-02	0.60m.-150m.	7.05

Nota: Caracterización de los estratos de los suelos.

4.1.6. Clasificación del Suelo de la Subrasante

En la Tabla 27 se logra apreciar las características físicas del suelo.

Tabla 27

Características Físicas del Suelo

Características físicas del suelo			
Calicata	Ca1	Ca2	Ca3
Muestra	Mu1	Mu2	Mu3
Estrato	E2	E2	E2
Profundidad del estrato	0.60 m. - 1.50 m.	0.80 m. - 1.80 m.	0.60 m. - 1.50 m.
Humedad natural (%)	47.90	33.70	42.80
Análisis por tamices (% que pasa)			
Tamiz 2.38 mm (N° 8)	76.67	95.81	80.33
Tamiz 0.30 mm (N° 50)	64.10	92.91	67.64

Tamiz 0.07 mm (N° 200)	44.64	62.37	48.90
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 0.70 mm (N° 200)			
Limite líquido (l.l.)	24.20	20.60	22.70
Limite plástico (l.p.)	8.30	9.10	8.90
Índice de plasticidad (I.p.)	15.90	11.50	14.80
	SC	CL	CL
Clasificación SUCS (ASTM d 2487)	Arcilla ligera arenosa con grava	Arcilla ligera arenosa	Arcilla ligera arenosa con grava
	A-7-6	A-7-6	A-7-6
Clasificación AASHTO (AASHTO m 145)	Arcilla limosa	Arcilla limosa	Arcilla limosa

Interpretación:

Tras analizar las muestras de suelo extraídas de las tres calicatas, se observa que, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la primera muestra se clasifica como SC (arena arcillosa), mientras que las dos restantes se identifican como CL (arcilla de baja plasticidad). De acuerdo con la clasificación AASHTO, estas muestras pertenecen al grupo A-7-6. Un análisis más detallado revela que estos suelos presentan un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido, lo que indica una susceptibilidad a experimentar cambios volumétricos considerables.

A partir de las características físicas del suelo proporcionadas en el cuadro, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- **Humedad Natural:** Los valores de humedad natural muestran variabilidad entre las diferentes calicatas y muestras. La muestra Mu2 presenta la humedad natural más baja, mientras que la muestra Mu1 presenta la humedad natural más alta.
- **Análisis por tamices:** Los porcentajes que pasan los diferentes tamices varían entre las calicatas y muestras. En general, se observa un mayor porcentaje que pasa el tamiz N° 8 en la muestra Mu2, indicando una mayor presencia de partículas más gruesas en ese suelo.

- Características de la fracción que pasa el tamiz N° 0.70 MM: Los valores del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad muestran variabilidad entre las calicatas y muestras. La muestra Mu1 presenta el valor más alto de límite líquido e índice de plasticidad, lo que indica una mayor plasticidad en ese suelo.
- Clasificación SUCS y AASHTO: Según la clasificación SUCS, todas las muestras se clasifican como arcilla ligera arenosa con grava. En cuanto a la clasificación AASHTO, todas las muestras se clasifican como arcilla limosa.

Los resultados indican que, al añadir Cemento Portland Tipo IP al suelo, la interacción entre el cemento y la humedad del suelo modifica las características físico-mecánicas del mismo, específicamente reduciendo la humedad óptima y aumentando la densidad seca. Este fenómeno se debe a la reacción química entre el cemento y el agua presente en el suelo, que conduce a la formación de nuevos compuestos que mejoran la cohesión y la capacidad de carga del suelo. Con cada incremento en la proporción de cemento, se observó una mejora significativa en la estabilidad del suelo, evidenciando que la adición de Cemento Portland Tipo IP es una técnica efectiva para el mejoramiento de suelos arcillosos, especialmente en proyectos de ingeniería civil donde se requiere una subrasante de alta calidad y resistencia.

4.1.7. Índice de Grupo (GI)

Para la evaluación cualitativa de un suelo determinado, también se ha desarrollado un número denominado Índice de grupo.

Ecuación 9. Cálculo de Índice de Grupo.

$$GI = (F_{200} - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F_{200} - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

- F o F 200 es el % de edad que pasa # 200 tamices expresados como número entero (también llamado fracción fina)
- LL es el límite líquido del suelo
- PI es el índice de plasticidad del suelo

El Índice de Grupo (IG) es un indicador clave para evaluar la calidad de un suelo como material de subrasante. A mayor valor de IG, menor será la capacidad del suelo para soportar cargas, y viceversa. En otras palabras, la aptitud de un suelo para servir como base de un pavimento es inversamente proporcional a la IG. Un IG de cero representa el escenario ideal para una subrasante. En caso de obtener un valor negativo en el cálculo del IG, éste se considerará como cero. Para fines prácticos, el valor de IG siempre se redondea al número entero más cercano.

Reemplazando valores:

$$IG = (62.37 - 35) [0,2 + 0,05 (20.60 - 40)] + 0,01 (62.37 - 15) (11.50 - 10)$$

$$IG = 3.53 = 4$$

Resultado:

Un alto contenido de material inadecuado en la subrasante, reflejado en un Índice de Grupo (IG) elevado, compromete considerablemente la calidad del suelo. En el caso de la calicata Ca-02, que presenta la muestra de suelo menos favorable, el IG de 4 la sitúa en el límite entre un suelo aceptable y uno crítico. Para los fines de esta investigación, se considerará como una subrasante de baja calidad.

4.1.8. Nivel Freático.

Como dato relevante se desprende de las Calicatas Ca-01, Ca-02 y Ca-03 es la presencia de Nivel Freático a profundidades de 1.30 m, 1.60 m y 1.30 m respectivamente. Este hallazgo, evidenciado en las fotografías, indica la profundidad a la que el terreno se encuentra saturado de agua, información crucial para el diseño y la construcción de cualquier infraestructura en la zona.

En la Figura 24 se observa un dato adicional de nivel freático en las calicatas.

Figura 24

Nivel freático encontrado en calicatas



Nota: Nivel freático encontrado en las calicatas

En la Tabla 28 se aprecian los resultados del índice de plasticidad con la adición de 3, 6 y 9 % de cemento portland tipo IP en Ca-02

Tabla 28

Resultados del índice de plasticidad con la adición de 3, 6 y 9 % de cemento portland tipo IP en Ca - 02

Ítems	% De cemento portland tipo IP			
	0	3	6	9
Límite líquido (L.L.)	20.60	24.8	19.99	17.22
Límite plástico (L.P.)	9.10	9.12	9.41	9.40
Índice de plasticidad (I.P.)	11.50	14.96	10.58	7.81

En la Tabla 29 se observa los resultados de los ensayos a compresión realizados a las muestras.

Tabla 29

Resultados de los ensayos a compresión realizados a las muestras

N° muestra	%_Adición Cemento	f c
1	0	6.8 kg/cm2
2	0	6.9 kg/cm2

3	0	7 kg/cm ²
4	3	17.1 kg/cm ²
5	3	17.6 kg/cm ²
6	3	16.9 kg/cm ²
7	6	27.4 kg/cm ²
8	6	34 kg/cm ²
9	6	29.9 kg/cm ²
10	9	31.4 kg/cm ²
11	9	34.6 kg/cm ²
12	9	36.2 kg/cm ²

Interpretación:

La adición de Cemento Portland Tipo IP a las muestras de suelo de la subrasante de la Prolongación Wiracocha ha demostrado tener un impacto significativo en el aumento de la resistencia a compresión, según los resultados obtenidos en los ensayos. Las muestras sin adición de cemento presentaron valores de resistencia a compresión en el rango de 6.8 kg/cm².

Con la incorporación del 3% de Cemento Portland Tipo IP, la resistencia aumentó notablemente, situándose entre 16.9 kg/cm² y 17.6 kg/cm². Al incrementar la adición de cemento al 6%, la resistencia a compresión se elevó aún más, alcanzando valores entre 27.4 kg/cm² y 34 kg/cm². Finalmente, con una dosificación del 9%, la resistencia continuó aumentando, registrando valores entre 34.6 kg/cm² y 36.2 kg/cm², lo que demuestra que una mayor proporción de cemento sigue mejorando las propiedades mecánicas del suelo.

Este estudio resalta la efectividad del Cemento Portland Tipo IP para mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo, resultando clave para el diseño y la optimización de mezclas suelo-cemento en proyectos de ingeniería civil.

En la Figura 25 se aprecia los cilindros con 3%, 6% y 9% de cemento adicionado. Cilindros de suelo – cemento.

Figura 25

Cilindros con 3%, 6% y 9% de cemento adicionado

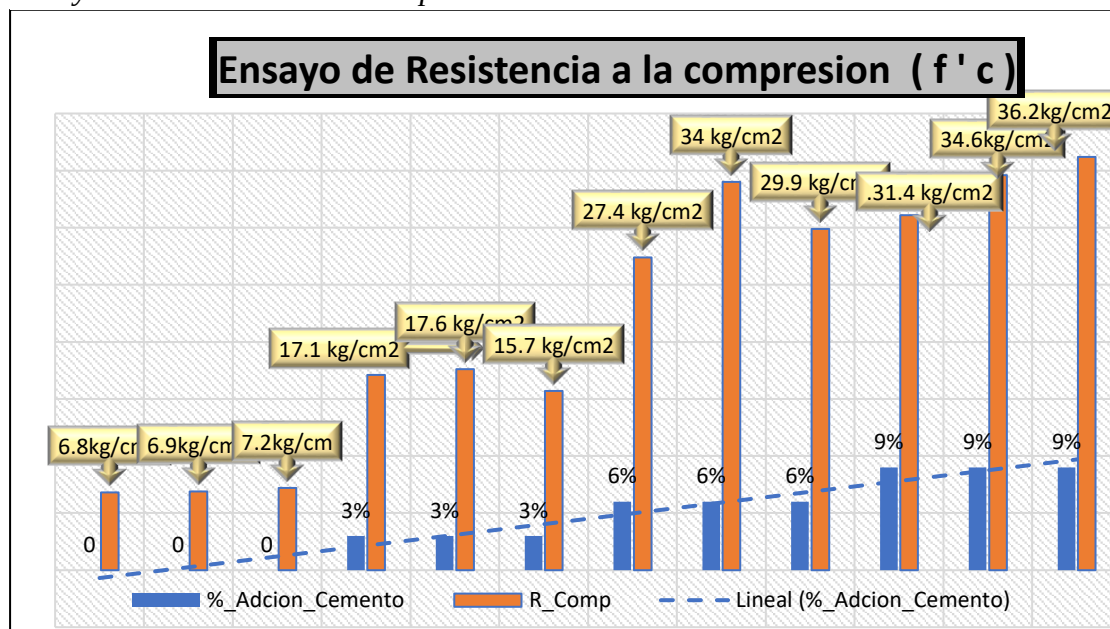


Nota: probetas con % dosificación de cemento.

En la Figura 26 se observa los resultados al ensayo de resistencia a la compresión f'_c

Figura 26

Ensayos de resistencia a la compresión



Nota: Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

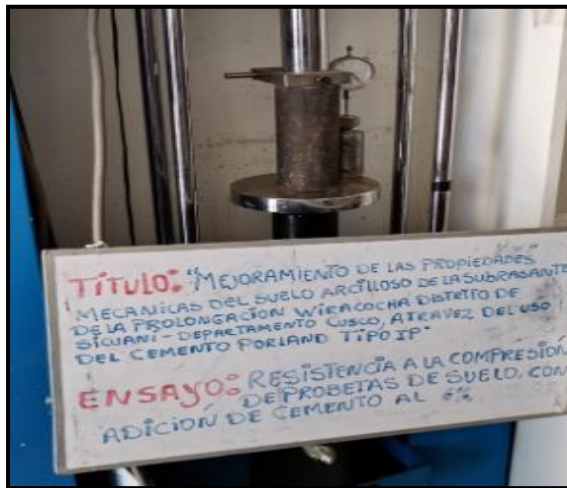
Interpretación:

Se evidencia en los resultados obtenidos de los ensayos. Las muestras sin adición de cemento presentaron valores de resistencia a compresión en el rango de 6.8 a 7 kg/cm². Con la incorporación del 3% de Cemento Portland Tipo IP, la resistencia aumentó notablemente, situándose entre 16.9 kg/cm² y 17.6 kg/cm². Al incrementar la adición de cemento al 6%, la resistencia a compresión se elevó aún más, alcanzando valores entre 27.4 kg/cm² y 30 kg/cm². Finalmente, con una dosificación del 9%, la resistencia continuó aumentando, registrando valores entre 34.6 kg/cm² y 36.2 kg/cm², lo que confirma que una mayor proporción de cemento sigue mejorando las propiedades mecánicas del suelo.

En la Figura 27 se observa los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión de cilindros de suelo – cemento.

Figura 27

Ensayos de resistencia a compresión en laboratorio



En la Figura 28 se observa los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con suelo – cemento al 3% de cemento.

Figura 28

Resultados de resistencia a compresión.



Nota: Probetas con dosificación de 3% de cemento portland Tipo IP.

En la Figura 29 se observa los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con suelo – cemento al 6% de cemento.

Figura 29

Ensayos a resistencia a compresión.



Nota: Probetas con dosificación de 6% de cemento portland Tipo IP.

En la Figura 30 se observa los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con suelo – cemento al 9% de cemento.

Figura 30
Ensayos a resistencia a la compresión



Nota: Probetas con dosificación de 9% de cemento portland Tipo IP.

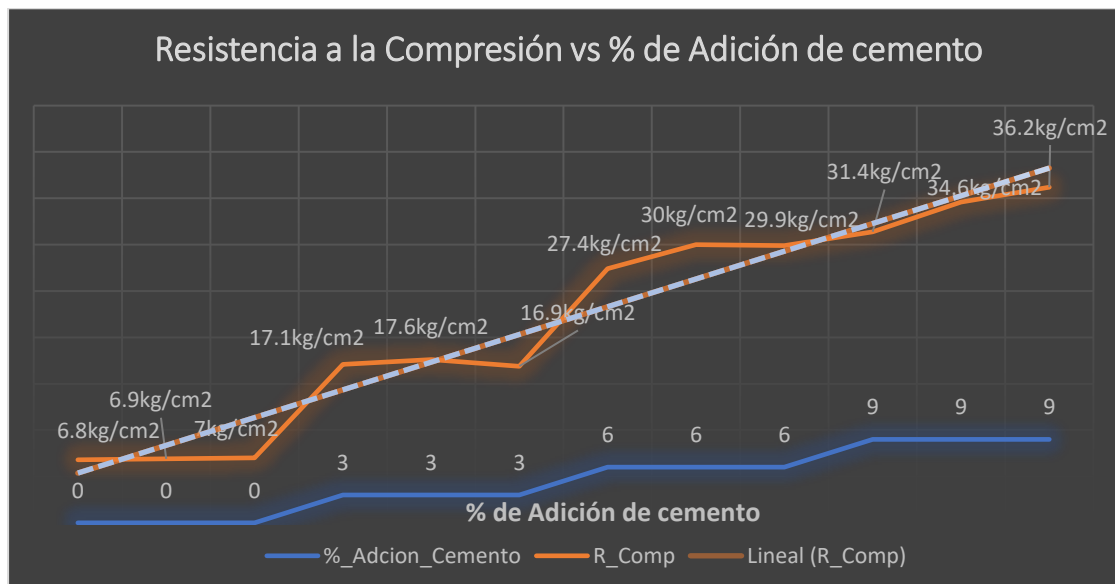
En la Figura 31 se logra apreciar los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión suelo – cemento.

Figura 31
Ensayos realizados en laboratorio



En la Figura 32 se observa la resistencia a la compresión vs el porcentaje de adición cemento.

Figura 32
Resistencia a la Compresión vs % de Adición



Nota: Compresión vs el porcentaje de adición

En la Tabla 29 se observa la matriz de correlaciones del cálculo estadístico.

Tabla 29
Matriz de correlaciones

	% de Adición de Cemento	Resistencia a la compresión ($f'c$)
% de Adición de Cemento	1%	0.936 g/cm2
Resistencia a la compresión ($f'c$)	0.936 g/cm2	1%

En la Tabla 30 se muestra la regresión de la resistencia a la compresión ($f'c$).

Tabla 30
Regresión de la variable $f'c$

Estadísticos de bondad del ajuste $f'c$	
Observaciones	12
Suma de los pesos	12

GL	10
R ²	0.876
R ² ajustado	0.864

Interpretación:

A partir de los estadísticos de bondad del ajuste de la regresión de la variable $f^{\prime}c$, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Observaciones: se cuenta con un total de 12 observaciones en el siguiente análisis.

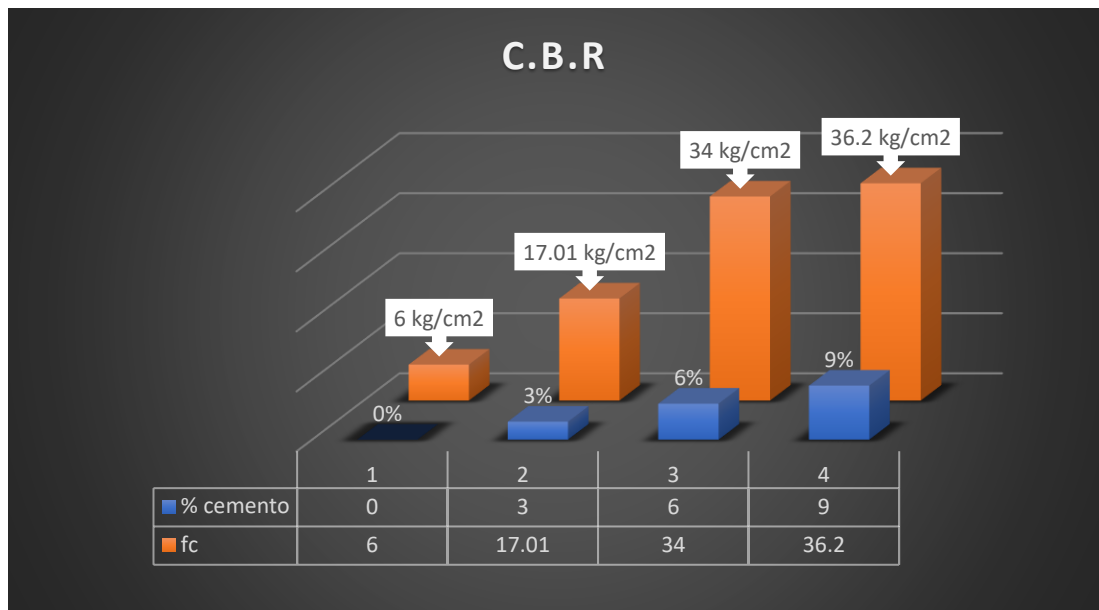
- La suma de los pesos (SP) es 12, lo que indica que se consideran todos los datos en el ajuste del modelo.
- Se tienen 10 grados de libertad (GL), lo que indica que se utilizan 10 variables predictoras en el modelo de regresión.
- El Coeficiente de determinación (R^2) es 0.876, lo que significa que aproximadamente el 87.6% de la variabilidad de $f^{\prime}c$ puede ser explicada por las variables predictoras utilizadas en el modelo.
- El R^2 ajustado es 0.864, que es una medida ajustada del coeficiente de determinación este valor tiene en cuenta la complejidad del modelo y proporciona una medida más conservadora de la bondad del ajuste.

En resumen, las conclusiones obtenidas indican que el modelo de regresión utilizado para la variable $f^{\prime}c$ muestra un buen ajuste a los datos. El modelo es capaz de explicar una gran parte de la variabilidad de la variable dependiente, lo que señala que las variables predictoras utilizadas son relevantes y tienen un impacto significativo en la variable $f^{\prime}c$. Sin embargo, es importante considerar otros aspectos del análisis, como la significancia estadística de los coeficientes y la validez del modelo en relación con los objetivos de la investigación.

En la figura 33 se observa el cuadro comparativo CBR con cemento y sin cemento.

Figura 33

Análisis de gráficos comparativos



Nota: Comparación del ensayo de C.B.R. con cemento y sin cemento

Interpretación:

Los ensayos CBR realizados con y sin cemento en las muestras C-1, C-2 y C-3 revelan una notable mejora en la resistencia y capacidad de soporte del suelo tras la adición de cemento. El suelo, inicialmente clasificado como subrasante pobre, alcanzó un CBR del 27.4% MDS tras la exposición al cemento, transformándose en una subrasante de excelente calidad, ideal para la construcción. Este incremento significativo, de un 6.8% MDS a un 27.4% MDS con la adición de 6% de cemento, demuestra la efectividad del tratamiento con cemento al 6%, porcentaje que resultó óptimo para maximizar la resistencia del suelo a la compresión. Al aumentar la dosificación de cemento al 9%, el CBR continuó mejorando, alcanzando un 33.2% MDS, lo que demuestra que el 9% de cemento también permitió una mejora adicional en la capacidad de carga y las propiedades mecánicas del suelo.

En la tabla 31 se aprecia el resultado del ensayo para el límite líquido

Tabla 31

Resultados del límite líquido

ENSAYO N°	UND	1	2	3
N° de Golpes		28	22	17
Recipiente N°		T-1	T-2	T-3
Peso del Recipiente + Suelo Hum.	grs.	50.33	52.49	53.83
Peso del Recipiente + Suelo Seco	grs.	47.50	48.90	50.61
Peso de agua	grs.	2.83	3.59	3.22
Peso de Recipiente	grs.	40.97	41.03	43.82
Peso de S. Seco	grs.	6.53	7.87	6.79
% de Humedad	%	43.36	45.59	47.50

En la Tabla 32 se pueden ver los resultados del ensayo para límite plástico.

Tabla 32

Resultados del límite plástico

ENSAYO N°	UND	1	2
Recipiente N°		T-1	T-2
Peso del Recipiente + Suelo Hum.	grs.	66.65	67.65
Peso del Recipiente + Suelo Seco	grs.	63.12	63.94
Peso de agua	grs.	3.53	3.71
Peso de Recipiente	grs.	40.97	41.03
Peso de S. Seco	grs.	22.15	22.91
% de Humedad	%	15.95	16.17

En la Figura 34 se logra observar el Resultados límite plástico y número de golpes.

Figura 34

Resultado límite plástico y número de golpes

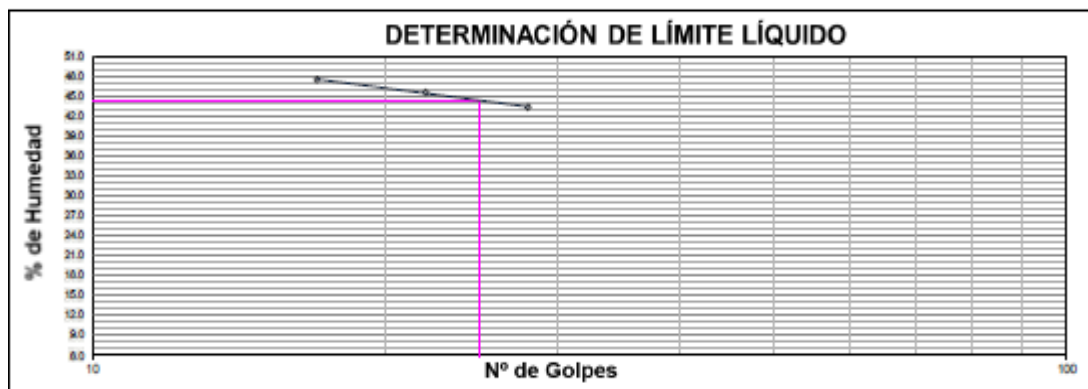
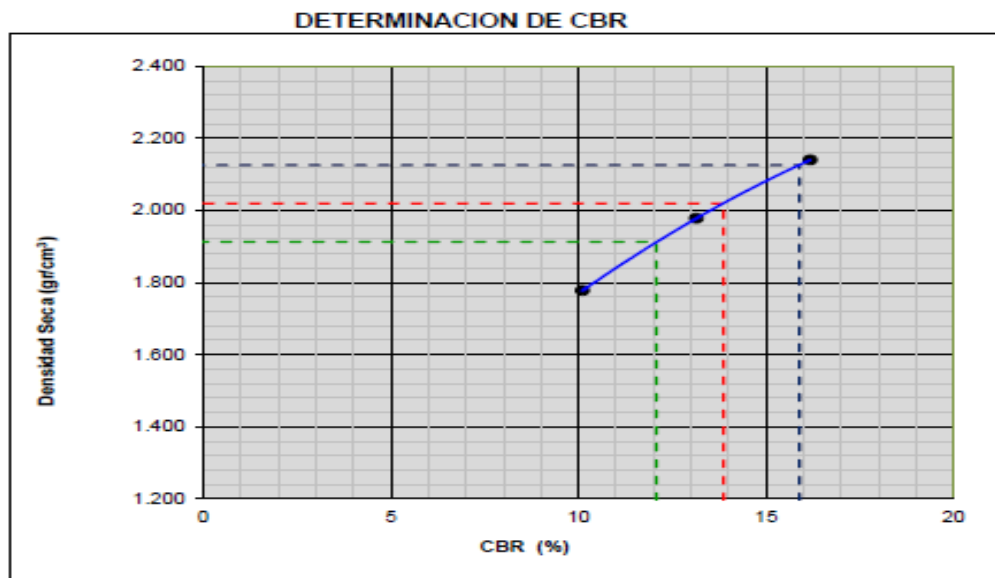


Figura 35 se aprecia ver la determinación del CBR. Con relación a la densidad seca.

Figura 35

Determinación CBR

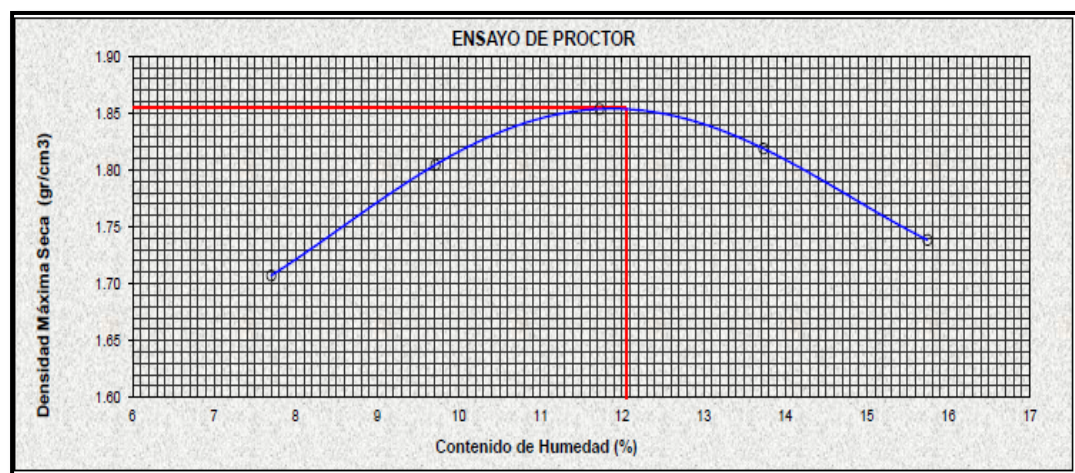


Nota: (24)

En la figura 36 se observan los resultados del ensayo Proctor con relación a la densidad máxima seca.

Figura 36

Resultados de la densidad máxima seca en el ensayo Proctor



En la Tabla 33 se observa el modelo de la ecuación que se utilizó para realizar los cálculos.

Tabla 33

Ecuación del Modelo $f'c$

Ecuación del modelo $f'c$.		
$f'c. = 8.9067 + 2.563 * \%_Adición\ Cemento$		

Interpretación:

A partir de la ecuación del modelo para la variable $f'c$., se pueden obtener las siguientes conclusiones:

La constante de la ecuación es de 8.906. Esto indica que, cuando el porcentaje de adición de cemento es cero ($\%_Adición\ Cemento = 0$), el valor esperado para $f'c$ es de aproximadamente 8.91.

El coeficiente de $\%_Adición\ Cemento$ en la ecuación es de 2.563. Esto significa que, por cada aumento unitario en el porcentaje de adición de cemento, se espera un aumento de aproximadamente 2.56 en el valor de $f'c$.

En la Tabla 34 se aprecia ver los Coeficientes estandarizados de los resultados obtenidos de la influencia del % de adición del cemento en las muestras de suelo del estudio realizado.

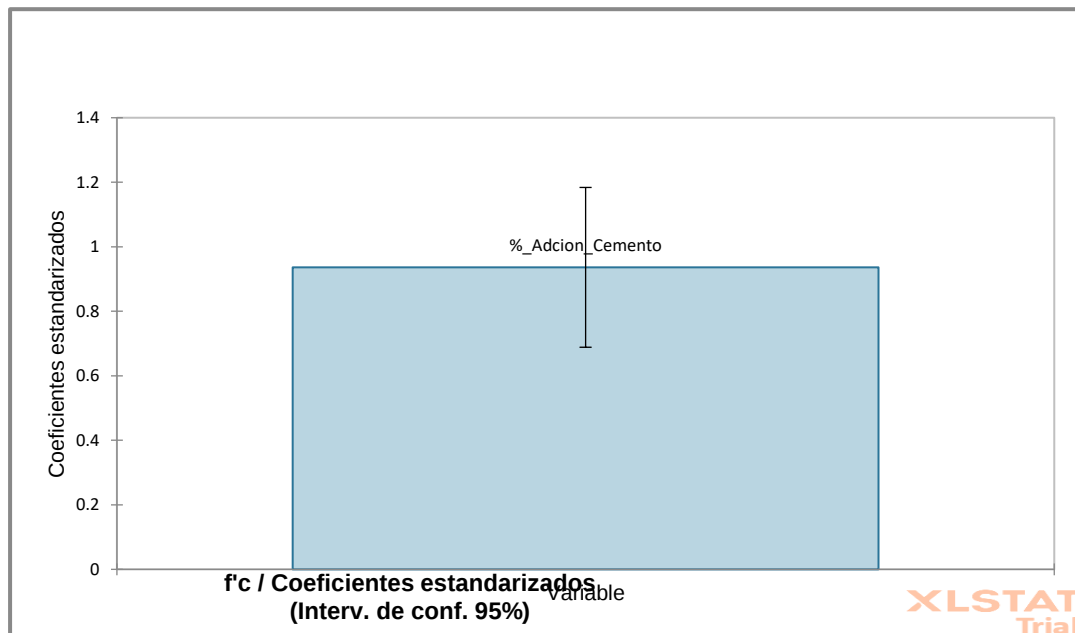
Tabla 34.

Coeficientes estandarizados

Coeficientes estandarizados ($f'c$):		
Fuente	Valor	Error estándar
$\%_Adición\ Cemento$	0.936	0.111

En la Figura 37 Coeficientes estandarizados de los resultados obtenidos de la influencia del % de adición del cemento en las muestras de suelo del estudio realizado.

Figura 37
Coefficientes estandarizados

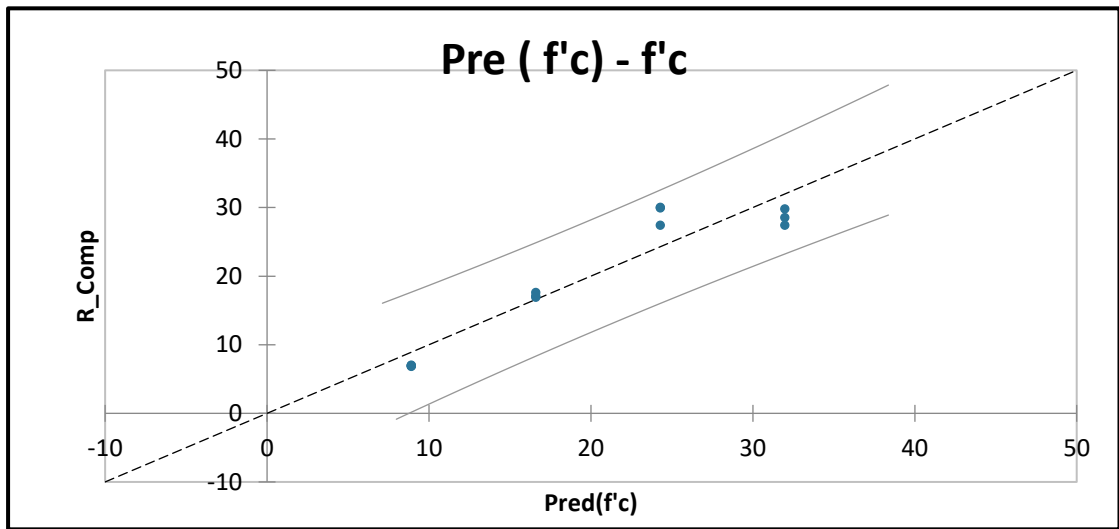


Interpretación:

Se observa que la relación entre la adición de cemento y la resistencia a la compresión ($f'c$) de las muestras de suelo. El coeficiente estandarizado para el porcentaje de adición de cemento es de 0.936, con un error estándar de 0.111, indicando una fuerte correlación positiva entre la cantidad de cemento agregado y la mejora en la resistencia a la compresión del suelo. Este valor elevado del coeficiente señala que la adición de cemento es un predictor significativo de la resistencia a la compresión en las muestras estudiadas, demostrando que incrementos en el porcentaje de cemento Portland Tipo IP conducen a aumentos considerables en la resistencia a compresión del suelo, lo cual es fundamental para el diseño y la implementación de estrategias de mejora de suelos en proyectos de ingeniería y construcción.

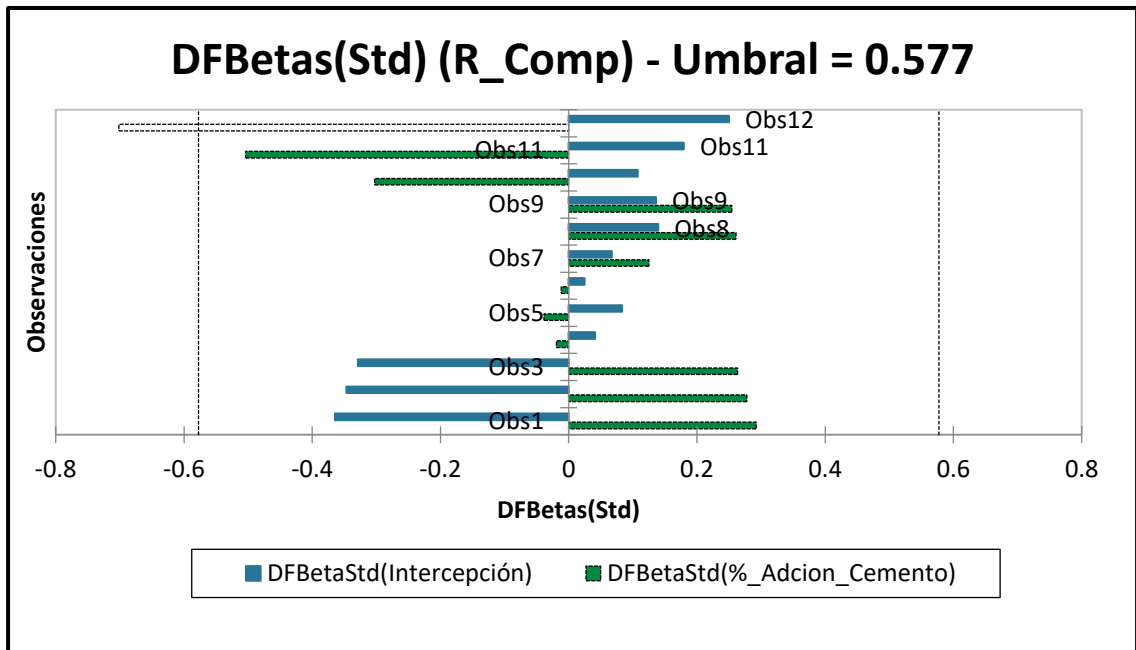
En la Figura 38 se logra ver la gráfica de la distribución de los resultados dentro de los márgenes de error aceptables.

Figura 38
Distribución de resultados



En la Figura 39 se observa el umbral de aceptación de los resultados de las muestras realizadas.

Figura 39.
Umbral de aceptación.



Nota: Observaciones están dentro del umbral, por lo cual se aceptan los resultados obtenidos.

4.1.9. Prueba de Hipótesis

En la Tabla 35 se observa la prueba de hipótesis.

Tabla 35

Prueba de hipótesis

Prueba sobre la normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk). ($f'c$):	
W	0.914
valor-p (bilateral)	0.238
Alfa	0.050

Interpretación:

El análisis estadístico revela una fuerte relación entre las variables estudiadas. El valor R^2 indica que el 88% de la variación en la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) puede ser explicada por la variable explicativa considerada en el modelo. Además, el valor p obtenido en la tabla ANOVA, inferior al nivel de significación del 5%, confirma que la inclusión de las variables explicativas en el modelo mejora significativamente la predicción de la resistencia del concreto, en comparación con un modelo que solo considere la media.

A partir de los resultados de la prueba de hipótesis de normalidad de los residuos utilizando el estadístico Shapiro-Wilk, se llega a las siguientes conclusiones:

- Valor de W: El valor de W obtenido es 0.914. Este valor indica la cercanía de los datos a la distribución normal. Un valor más cercano a 1 indica una mayor normalidad de los datos.
- Valor-p (bilateral): El valor-p obtenido es 0.238. Este valor representa la probabilidad de obtener un resultado igual o más extremo que el observado si la hipótesis nula de normalidad es cierta. En este caso, al ser mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.050$), no se rechaza la hipótesis nula.

Conclusión:

Con base en los resultados obtenidos, no se encontraron suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula de normalidad de los residuos (f^*c). Esto señala que los residuos podrían seguir una distribución normal, lo cual es deseable en muchos análisis estadísticos.

Es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en los datos y la prueba de hipótesis específica realizada. Es recomendable realizar análisis adicionales y considerar otras pruebas estadísticas para obtener una evaluación más completa de la normalidad de los residuos.

4.2. Discusión de Resultados

En concordancia con el objetivo específico 1, se evidenció un aumento directamente proporcional en la resistencia a la compresión del suelo con la adición incremental de cemento Portland Tipo IP. Este resultado reafirma la hipótesis inicial de que la incorporación de cemento no solo mejora la cohesión entre las partículas del suelo sino también la capacidad para resistir esfuerzos de compresión, lo cual es un indicador positivo hacia el cumplimiento del objetivo específico del estudio.

Este patrón de mejora coincide con los hallazgos de Sánchez, quien reportó una disminución significativa en la tasa de expansión del suelo con la adición de cal y cemento, y con los de Camargo & Duran (6), que observaron una mejora en las propiedades mecánicas de suelos arcillosos de baja plasticidad mediante la utilización de cemento. Ambos estudios subrayan el potencial del cemento para alterar positivamente las características físicas y mecánicas del suelo, en línea con lo observado en nuestro estudio.

De manera similar, las investigaciones realizadas en el contexto nacional peruano por Velásquez y Mamani proporcionan evidencia complementaria sobre la efectividad de la estabilización con cemento. Velásquez (7) destaca la mejora en la resistencia y estabilidad del suelo a través de la reducción del índice de plasticidad y el incremento del índice CBR, una observación que encuentra eco en nuestros resultados, donde la resistencia a la compresión simple mejoró notablemente con la adición de cemento.

Además, el estudio de Mamani (37) (37), se centró en la influencia del cemento en la estabilización de suelos para pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito, mostró un incremento en la resistencia medida a través del valor relativo de soporte (CBR), lo cual es congruente con el aumento en la resistencia a la compresión simple observado en nuestra investigación.

La consistencia entre nuestros hallazgos y los reportados en los antecedentes es la estabilización con cemento es una estrategia robusta y efectiva para mejorar las propiedades de los suelos, especialmente en términos de resistencia a la compresión y capacidad de carga. Esto no solo valida la metodología empleada y los resultados obtenidos en nuestro estudio, sino que también refuerza la relevancia de la estabilización con cemento como técnica de mejora de suelos en la ingeniería geotécnica y civil.

En concordancia con el objetivo específico 2, la investigación realizada demostró una correlación positiva entre el incremento del porcentaje de adición de cemento y la resistencia a la compresión del suelo, evidenciando una mejora significativa en la capacidad portante del mismo. Este hallazgo es crucial ya que confirma que la estabilización del suelo con Cemento Portland Tipo IP constituye una estrategia efectiva para reforzar la capacidad de soportar cargas, cumpliendo así con uno de los objetivos específicos del estudio que era evaluar y potenciar la capacidad portante del suelo de la subrasante.

Al comparar este resultado con los hallazgos de investigaciones previas, se observa una consistencia notable con los estudios que destacan el valor de la incorporación de cemento en la estabilización de suelos. Por ejemplo, investigaciones anteriores, como las realizadas por Sánchez, subrayan la efectividad de la cal en la reducción de la plasticidad del suelo; sin embargo, nuestro estudio amplía este entendimiento al demostrar que, más allá de la mejora en la trabajabilidad y reducción de la susceptibilidad a cambios volumétricos, el cemento Portland Tipo IP específicamente contribuye de manera directa a la mejora de la resistencia a la compresión y, por ende, a la capacidad portante del suelo.

Este resultado se alinea también con los trabajos de Camargo y Duran (6), quienes identificaron mejoras en la resistencia de suelos tratados con cemento, aunque nuestro estudio se distingue al cuantificar el impacto directo del Cemento Portland Tipo

IP en la capacidad portante del suelo. Además, las investigaciones de Velásquez, que evidenciaron incrementos en el índice CBR debido a la estabilización con cemento, ofrecen un marco comparativo que respalda la aplicabilidad y eficacia de nuestros hallazgos en contextos prácticos, especialmente en la construcción y mejora de infraestructuras viales.

Por último, el trabajo de Mamani, que demostró mejoras en la resistencia y en el coeficiente estructural de caminos tras la estabilización con cemento, se complementa con nuestros resultados al confirmar el potencial de esta técnica para aumentar la durabilidad y resistencia de suelos destinados a infraestructuras de transporte. La convergencia de estos estudios con nuestros hallazgos no solo valida la eficacia de la estabilización con Cemento Portland Tipo IP en la mejora de la capacidad portante del suelo, sino que también destaca la relevancia de esta estrategia para superar los desafíos asociados con suelos problemáticos, reforzando así la contribución de nuestra investigación al campo de la ingeniería geotécnica.

Finalmente, en concordancia con el objetivo específico 3, los resultados de este estudio indican que existe una correlación positiva entre el porcentaje de adición de cemento y la resistencia a la compresión del suelo. Esto significa que al incrementar la cantidad de Cemento Portland Tipo IP utilizado para la estabilización del suelo, se observa una mejora significativa en la capacidad portante. Este hallazgo es crucial porque demuestra que la estabilización del suelo con este tipo de cemento es una estrategia efectiva para aumentar la capacidad de soportar cargas, lo cual era uno de los objetivos específicos del estudio: evaluar y mejorar la capacidad portante del suelo de la subrasante.

Comparando estos resultados con otros estudios o prácticas en el campo de la ingeniería civil, se puede apreciar que la estabilización del suelo con aditivos como el Cemento Portland es una técnica ampliamente reconocida y utilizada para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en proyectos de construcción y pavimentación donde se requiere un suelo con alta capacidad portante. La correlación positiva entre el porcentaje de cemento añadido y la resistencia a la compresión se alinea con los principios fundamentales de la mecánica de suelos y la ingeniería geotécnica, donde el mejoramiento de las propiedades del suelo beneficia directamente a la estabilidad y durabilidad de las estructuras soportadas.

Además, este estudio específico, al utilizar Cemento Portland Tipo IP, destaca la importancia de seleccionar el tipo adecuado de cemento para lograr los resultados deseados en términos de resistencia a la compresión y capacidad portante. Comparado con otras formas de estabilización del suelo, como la adición de cal o la mezcla con otros materiales como cenizas volantes, el uso de cemento ofrece ventajas en términos de la previsibilidad de los resultados y la durabilidad a largo plazo del suelo estabilizado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la adición de Cemento Portland Tipo IP al suelo arcilloso de la subrasante mejora de manera destacada sus propiedades físico-mecánicas. Con el aumento progresivo del porcentaje de cemento al 3%, 6% y 9%, se observó una mejora sustancial en la resistencia a la compresión, lo que resulta en un comportamiento mecánico optimizado del suelo. Estos resultados validan la efectividad del Cemento Portland Tipo IP como un agente clave para mejorar las propiedades del suelo en la subrasante, alcanzando el objetivo principal de la investigación.

Los resultados indican una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión del suelo y el incremento en la dosificación de Cemento Portland Tipo IP. Esto sugiere que la adición de cemento no solo refuerza la cohesión entre las partículas del suelo, sino que también aumenta su capacidad para resistir esfuerzos de compresión, cumpliendo con el primer objetivo específico del estudio.

La correlación positiva entre el porcentaje de cemento y la resistencia a la compresión resalta una mejora significativa en la capacidad portante del suelo. Esto confirma que la estabilización con Cemento Portland Tipo IP es una estrategia efectiva para incrementar la capacidad de carga del suelo, cumpliendo con el segundo objetivo específico de evaluar y optimizar la capacidad portante de la subrasante.

El estudio concluye que la incorporación de Cemento Portland Tipo IP al suelo de la subrasante contribuye de manera decisiva a la estabilización, mejorando tanto la resistencia a la compresión como la capacidad portante. Este proceso no solo aumenta la durabilidad del suelo, sino que también mejora su resistencia frente a cargas y condiciones adversas, cumpliendo así el tercer objetivo específico de analizar la estabilización del suelo mediante la adición de cemento.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para determinar la dosificación óptima de Cemento Portland Tipo IP que maximice las propiedades físico-mecánicas del suelo de la subrasante. Estos estudios deben considerar no solo la resistencia a la compresión, sino también otros factores clave como la economía, la sostenibilidad y el impacto ambiental. Dado que la respuesta del suelo varía según el porcentaje de cemento utilizado, se sugiere una dosificación personalizada que pueda adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.

Se propone el desarrollo de guías técnicas o manuales detallados para la implementación de la estabilización del suelo con Cemento Portland Tipo IP. Estos documentos deben incluir procedimientos claros sobre la preparación del suelo, el proceso de mezcla, la compactación y el curado, con el fin de garantizar que las mejoras en la capacidad portante y la resistencia a la compresión se logren de manera consistente en distintos proyectos.

Antes de proceder con la implementación a gran escala de la estabilización del suelo mediante Cemento Portland Tipo IP, es esencial realizar una evaluación exhaustiva de la relación costo-beneficio. Este análisis debe considerar los costos de los materiales y la mano de obra, así como los beneficios a largo plazo, tales como la reducción de costos de mantenimiento y reparación de infraestructuras gracias a la mayor estabilidad y durabilidad de la subrasante.

Por último, se recomienda llevar a cabo investigaciones sobre el impacto ambiental de la adición de Cemento Portland Tipo IP al suelo. Es crucial evaluar los posibles efectos en el entorno, como en el suelo circundante, las aguas subterráneas y la flora local. Asimismo, es necesario explorar estrategias para mitigar cualquier impacto negativo. De esta manera, se garantizará que la estabilización del suelo no solo sea efectiva desde el punto de vista técnico, sino también sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **ALZATE.** *Mejoramiento de Subrazante en Vías de Tercer orden [tesis , Universidad Libre Seccional Pereira de Colombia]*. Repositorio Institucional Universidad Libre Seccional Pereira de Colombia, s.l. : 2019.
2. **GAVILANES.** *Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de santos pamba barrio colinas del sur [tesis de licenciatura , Universidad Internacional del Ecuador]*.
3. **GARCIA.** *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín [tesis investigacion ,Universidad Catolica de Colombia]*. Repositorio Institucional Universidad Catolica de Colombia, s.l. : 2019.
4. **FIALLOS Y J.** *Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [tesis pregrado , Universidad Tecnica de Ambato]*. Repositorio Institucional Universidad Tecnica de Ambato, s.l. : 2016.
5. **PARRA.** *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante [tesis investigacion , Universidad Catolica de Colombia]*. Repositorio Institucional Universidad Catolica de Colombia, s.l. : 2018.
6. **CAMARGO ; DURAN.** *Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos de baja plasticidad mediante el uso del cemento para capa de rodadura en vías terciarias[Tesis de investigacion , Universidad de Cartagena]*. Repositorio Institucional Universidad de Cartagena, s.l. : 2018.
7. **VELÁSQUEZ.** *Influencia del cemento portland tipo I en la Estabilizacion del suelo Arcilloso de la Subrazante de la Avenida Dinamarca , sector la Molina [tesis de investigacion , Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca, s.l. : 2018.
8. **SALAS.** *Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento de la base del km 11+000 al km9+000 de la carretera Puno- Tiquillaca Mañazo[tesis pregrado , Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez]*. Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez, s.l. : 2017.

9. **URCIA.** titulada *“Estabilización del suelo con la aplicación de Cemento portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca-Quichuas. Región Huancavelica, 2017 [tesis pregrado ,Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Universidad Cesar Vallejo, s.l. : 2017.*
10. **BECERRA Y HERRERA.** *Estabilización de arcillas arenas y afirmados, planteando proporciones de los Cementos Pacasmayo Banorte mochica y Qhuna en la región Lambayeque [tesis de pregrado , Universidad Señor de Sipan. Repositorio Institucional Universidad Señor de Sipan, s.l. : 2019.*
11. **ESCOBAR.** *Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas [posgrado Mecanica de suelos , Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Universidad Nacional de Colombia], s.l. : 2016.*
12. **CABRERA ; M.** *Mejoramiento de la Superficie de Rodadura Afirmada con la Aplicacion de Cloruro de calcio en la Avenida pradera , Urbanizacion la Pradera Pimentel - Chiclayo - Lambayeque.*
13. **MTC.** LIMA Ministerio de transportes y comunicaciones Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos : s.n., 2014.
14. **GUERRERO.** *Capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado con cal y sulfato de calcio en 10%, 15%,25%, [tesis pregrado ,Universidad privada del Norte]. Repositorio Institucional Universidad privada del Norte, s.l. : 2019.*
15. **CUADROS.** *Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016 [Tesis pregrado , Universidad Peruana de los Andes]. Repositorio Institucional Universidad Peruana de los Andes, s.l. : 2017.*
16. **MTC.** LIMA - PERU Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Manual de ensayos de materiales) : s.n., 2016 .
17. **MACHCO.** *Aplicación de cal para mejorar la estabilidad de subrasante en la Calle Luna Pizarro A. H. Cueva de los Tallos, Ventanilla, 2019 [tesis pregrado Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Universidad Cesar Vallejo, s.l. : 2019.*

18. **BRAJA , M.** Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4ta edició. Mexico D.F.: Cegace Learning. ISBN 9781111576752. : s.n., 2015.
19. **VILLAR, E y OBLITAS, J.** *Mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada con la aplicación de cloruro de calcio en la avenida Pradera, Urbanización La Pradera - Pimentel - Chiclayo - Lambayeque*[Universidad San Martín de Porres.]. LIMA : s.n., 2020.
20. **RAMOS, J Y LOZANO, J.** *ESTABILIZACION DE SUELO MENDIANTE ADITIVOS ALTERNATIVOS.* UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA., s.l. : 2019.
21. **NTP 334.009 , 2005.** *NORMA tecnica peruana . Cementos Portland Requisitos Lima [s.n] .* 2005.
22. **SINGH, S. y SINGH, G.** *Estabilizacion de suelos arcillosos con residuos de yeso de paris y cenizas de cascara de mani.* repositorio institucional International Journal of Engineering Research and Applications, s.l. : 2021.
23. **HEWEST,L.** *INGENIERIA DE CARRETERAS.* 2014.
24. **MTC E 132.** *CBR SUELOS.*
25. **FERNANDEZ.** *Estabilización de suelos arcillosos mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de vías terrestres. Estudio de casos: suelos de Chachapoyas, 2016.*[Optar titulo ,Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas]. amazonas : s.n., 2016.
26. **USACE.** (*US Army Corps of Engineers, Estados Unidos de America*). Repositorio Institucional Soil Stabilization for Pavements: Mobilization Construction, s.l. : 2017.
27. **DAS.** *fundamentos de la ingenieria de cimentaciones.* Mexico : 2012.
28. **HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P.** *Metodología de la Investigacion .* mexico : s.n., 2014.
29. **ARIAS, Fidias G,** *Introduccion a la Metodologia Cientifica. El Proyecto de Investigacion.* CARACAS - VENEZUELA, Caracas : 2006.

30. **LERMA, Daniel.** *Metodologia de la Investigacion , anteproyecto y proyecto.* BOGOTA : 2009.
31. **PALELLA, S. y MARTINS,.** *Metodología de la investigación cuantitativa.* CARACAS : FEDUPEL : s.n., 2012.
32. **ROJAS, VICTOR;.** *Metodologia de la Investigacion.* BOGOTA : s.n., 2015.
33. **MTC E 108.** *HUMEDAD NATURAL .* 2005.
34. **NTP 339.141 – ASTM D1557- 12e1.** *PROCTOR MODIFICADO.*
35. **NTP 339.128.** *GRANULOMETRIA POR TAMIZADO .* 2019.
36. **NTP 339.150 , 150 ASTM D 2488.** *DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DE SUELOS [MANUAL DE SUELOS;].*
37. **MAMANI.** *Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito [tesis de investigacion , Universidad Peruana Union de Juliaca].* Repositorio Institucional Universidad Peruana Union de Juliaca, s.l. : 2018.
38. **MECANICA DE LOS SUELOS.** Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2018.
39. **JARAMILLO.** *introduccion a la ciencia del suelo [trabajo de investigacion , universidad nacional de colombia].*
40. **MTC.** *Manual de Ensayos de Materiales.* Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima : 2016.
41. **MTC E 110.** *DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS.* 2000.

ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el comportamiento físico-mecánico del suelo en la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP al 3%,6% y 9%?	OBJETIVO GENERAL Determinar el comportamiento físico-mecánico del suelo en la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP al 3%,6% y 9%	HIPÓTESIS GENERAL La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente sus propiedades físico-mecánicas	VARIABLE INDEPENDIENTE Adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9%	Tipo: aplicada Nivel: explicativo Diseño: cuasiexperimental Alcance: explicativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿Cuáles serán los resultados obtenidos al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9% en la resistencia a la compresión simple de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco? 2. ¿Cuáles serán los resultados obtenidos al añadir 3%,6% y	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1. Determinar la resistencia a la compresión simple del suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%. 2. Evaluar la capacidad portante del suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 1. La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la resistencia a compresión simple. 2. La adición de cemento Portland tipo IP en	VARIABLE DEPENDIENTE Comportamiento físico-mecánico del suelo	Muestra: tres calicatas ubicadas a lo largo de la Av. Wiracocha del distrito de Sicuani de la provincia de Canchis Técnicas: análisis documental y observación Instrumentos: ficha de recolección de datos y guía de observación

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
9% de cemento portland Tipo IP en la capacidad portante del suelo de subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco? 3. ¿Cuáles serán el porcentaje de adición más óptima para estabilizar el suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco?	Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%. 3. Analizar la estabilización del suelo de la subrasante de la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani de la Provincia del Cusco al añadir cemento portland tipo IP en 3%, 6% y 9%.	proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la capacidad portante. 3. La adición de cemento Portland tipo IP en proporciones del 3%, 6%, y 9% al suelo de la subrasante en la prolongación Wiracocha del Distrito de Sicuani mejora significativamente la estabilización.		

Anexo N° 02: Matriz de Operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V.I. ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO IP	La adición de cemento Portland tipo IP se refiere al proceso de mezclar este material con suelo natural en proporciones específicas para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. El cemento Portland tipo IP, conocido por sus propiedades de moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación más bajo que el cemento Portland ordinario, se utiliza comúnmente en la estabilización de suelos para proyectos de ingeniería civil ⁴ .	En este estudio, la variable independiente es la cantidad de cemento Portland tipo IP añadida al suelo, medida como un porcentaje del peso seco del suelo. Las proporciones específicas a investigar son del 3%, 6%, y 9%. La preparación de las mezclas se realizará en condiciones controladas de laboratorio, asegurando una distribución homogénea del cemento en el suelo, y posteriormente se evaluarán las muestras para determinar cambios en las propiedades físico-mecánicas del suelo.	Adición de Cemento	Adición 3%	De razón
				Adición 6%	De razón
				Adición 9%	De razón
V.D. COMPORTAMIENTO FÍSICO-	El comportamiento físico-mecánico del suelo se refiere a la respuesta del suelo a las cargas	Para este estudio, el comportamiento físico-mecánico del suelo se evaluará	Propiedades Físicas	Límites de consistencia	De razón

MECÁNICO DEL SUELO	físicas y mecánicas, incluyendo la resistencia a la compresión, capacidad portante, estabilidad, permeabilidad, y otras propiedades relacionadas. Estas propiedades determinan la idoneidad del suelo para diversas aplicaciones en ingeniería civil, como cimientos, carreteras y estructuras de contención ⁵ .	mediante una serie de pruebas de laboratorio, incluyendo los límites de Atterberg, pruebas de compresión simple, ensayos de permeabilidad, y determinación del CBR (California Bearing Ratio). Estas pruebas proporcionarán datos cuantitativos sobre las propiedades del suelo después de la adición del cemento Portland tipo IP, permitiendo una comparación directa entre las muestras tratadas y no tratadas.	Propiedades Mecánicas	Equivalente de Arena	De razón
				Humedad	De razón
				Permeabilidad	De razón
				Compactación	De razón
					De razón
				Capacidad de Soporte	

Anexo N°03: Ensayos de Laboratorio

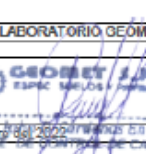
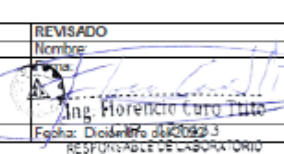


GEOMET S.A.C.
INGENIEROS ASOCIADOS

OBRA:

MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACocha DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

0% de cemento

LABORATORIO GEOMET S.A.C. Nombre: _____ Firma: 	REVISADO Nombre: _____ Firma:  Ing. Florencio Curo Tuto Fecha: Diciembre del 2022	SUPERVISOR Nombre: _____ Firma: _____ Fecha: _____
---	--	--

CHILE 1000
GEOMET S.A.C.
INGENIEROS ASOCIADOS
AV. DE LA UNIÓN 1000 - CUSCO

RESPONSABLE DE LABORATORIO


GEOMET S.A.C.
INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE PROCTOR
(NORMA NTP 339.141)



TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCCHA DISTRITO DE SICHUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

UBICACIÓN: DISTRITO: CUSCO PROVINCIA: CANCHIS DEPARTAMENTO: SICHUANI

SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA

Concepto: EVALUACIÓN DE TERRENO DE FUNDACIÓN
Ubicación: AV. WIRACOCCHA
Estructura: -
Localización: -

Fecha: Diciembre del 2022
Calicata: C-1
Prof. (m): -
Hecho por: J.C.E.

DATOS DE MUESTRA
 0% de cemento

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.
DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm³

COMPACTACION

ENSAYO Nº	1	2	3	4	5
Peso suelo + molde (gr.)	9,885	10,094	10,284	10,259	10,104
Peso molde (gr.)	6,157	6,157	6,157	6,157	6,157
Peso suelo compactado (gr.)	3,728	3,937	4,127	4,102	3,947
Volumen del molde (cm³)	2,130	2,130	2,130	2,130	2,130
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.750	1.848	1.937	1.926	1.853

HUMEDAD (%)

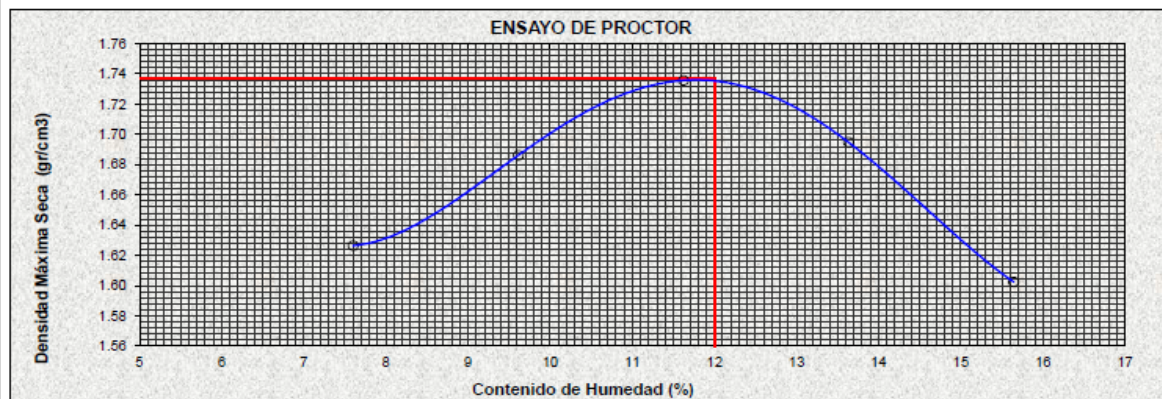
Tara Nº	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05
Tara + suelo húmedo (gr.)	1,056.3	992.4	1,020.9	992.1	947.9
Tara + suelo seco (gr.)	1,019.1	951.3	968.3	936.9	891.7
Peso de agua (gr.)	37.2	41.1	52.6	55.2	56.2
Peso de tara (gr.)	530.0	524.0	516.0	532.0	532.6
Peso de suelo seco (gr.)	489.1	427.3	452.3	404.9	359.1
Humedad (%)	7.60	9.61	11.62	13.63	15.64
Densidad Seca (gr/cm³)	1.627	1.686	1.736	1.695	1.602

RESULTADOS DE PROCTOR

Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.737
Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0

CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO

Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.737
Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0

ENSAYO DE PROCTOR


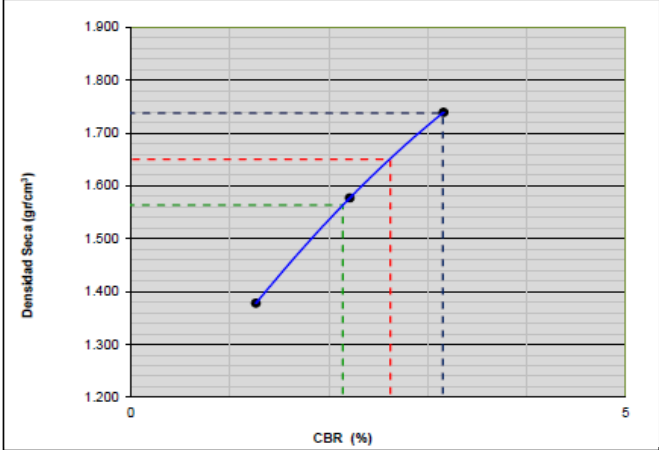
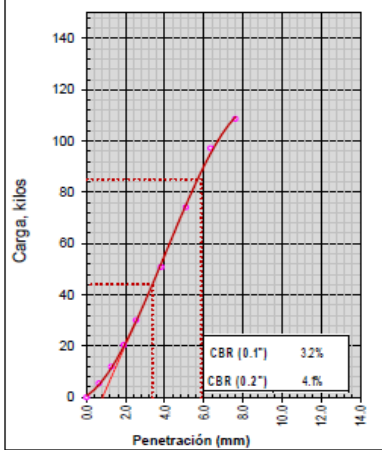
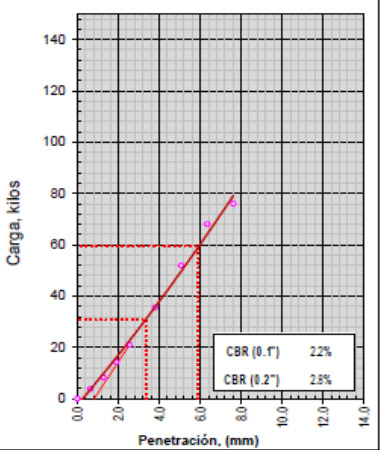
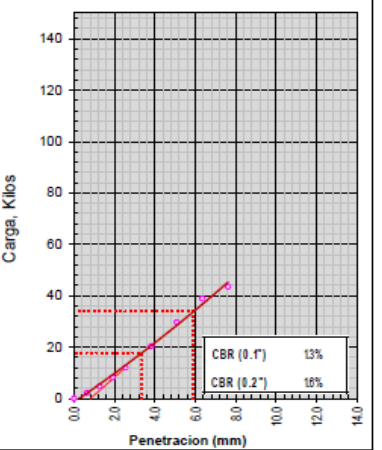
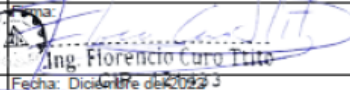
OBSERVACIONES

LABORATORIO GEOMET S.A.C.
 Nombre: _____
 Firma: _____
 Fecha: Diciembre del 2022

REVISADO
 Nombre: _____
 Firma: _____
 Fecha: Diciembre del 2022

SUPERVISOR
 Nombre: _____
 Firma: _____
 Fecha: _____

GEOMET S.A.C. INGENIEROS ASOCIADOS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS													
	RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145													
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP														
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: <u>CUSCO</u> PROVINCIA: <u>CANCHIS</u> DISTRITO: <u>SICUANI</u>														
SOLICITANTE: <u>GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA</u>														
DATOS DE MUESTRA														
Concepto: <u>EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION</u>		Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>												
Ubicación: <u>AV. WIRACOCHA</u>		Calicata: <u>C-1</u>												
Estructura: <u>-</u>		Prof. (m): <u>-</u>												
Localización: <u>-</u>		Hecho por: <u>J.C.E.</u>												
0% de cemento														
CALCULO DEL CBR														
Capas N°	5		5		5									
Golpes por capa N°	56		25		12									
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO								
Molde N°	M-1		M-2		M-3									
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11371		10815		10220									
Peso de molde (g)	7239		7177		6945									
Peso del suelo húmedo (g)	4132		3638		3275									
Volumen del molde (cm³)	2121		2059		2123									
Densidad húmeda (g/cm³)	1.948		1.767		1.543									
Tara (N°)	T-02		T-03		T-04									
Peso suelo húmedo + tara (g)	1022.0		1013.6		1009.3									
Peso suelo seco + tara (g)	968.8		958.5		955.0									
Peso de tara (g)	526.3		500.6		502.3									
Peso de agua (g)	53.2		55.1		54.3									
Peso de suelo seco (g)	442.5		457.9		452.7									
Contenido de humedad (%)	12.01		12.02		12.00									
Densidad seca (g/cm³)	1.739		1.577		1.378									
EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm	%		mm	%		mm	%			
DIA 0	09:30:00	0	15.0			122.0			185.0					
DIA 1	09:30:00	24	26.3	0.29	0.2	165.3	1.10	1.0	189.7	0.63	0.5			
DIA 2	09:30:00	48	95.3	2.04	1.8	198.6	1.95	1.7	256.0	2.31	2.0			
DIA 3	09:30:00	72	128.0	2.82	2.5	206.3	2.14	1.9	338.3	4.40	3.8			
DIA 4	09:30:00	96	130.0	2.92	2.5	257.0	3.43	3.0	383.6	5.55	4.8			
PENETRACION														
PENETRACION		CARGA	MOLDE N°		M-01		MOLDE N°		M-02		MOLDE N°		M-03	
Dímetro pistón: 5.02		STAND.	CARGA	CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000			0				0				0		
0.635	0.025			5.4				3.8				2.2		
1.270	0.050			11.9				8.3				4.8		
1.905	0.075			20.4				14.3				8.2		
2.540	0.100	70.5		30.0	44	3.2		21.0	31	2.2		12.0	17.8	1.3
3.810	0.150			50.8				35.6				20.3		
5.080	0.200	105.7		74.1	85	4.1		51.9	60	2.8		29.6	34	1.6
6.350	0.250			97.2				68.0				38.9		
7.620	0.300			108.6				76.0				43.4		
10.160	0.400			144.8				101.4				57.9		
Observaciones:														
LABORATORIO GEOMET S.A.C.					REVISADO					SUPERVISOR				
Nombre: _____ Firma: _____					Nombre: _____ Firma: _____					Nombre: _____ Firma: _____				
Fecha: Diciembre del 2022					Fecha: Diciembre del 2022					Fecha: Diciembre del 2022				

	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145																										
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACocha DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP																											
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: CUSCO	PROVINCIA: CANCHIS	DISTRITO: SICUANI																								
SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA																											
DATOS DE MUESTRA																											
Concepto:	EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		Fecha: Diciembre del 2022																								
Ubicación:	AV. WIRACocha		Calicata: C-1																								
Estructura:	-	Lado: -	Prof. (m): -																								
Localización:	-	-	Hecho por: J.C.E.																								
0% de cemento																											
REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR																											
DETERMINACION DE CBR																											
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>METODO DE COMPACTACION</td> <td>: ASTM D-1557</td> </tr> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.737 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>: 12.0 %</td> </tr> <tr> <td>95% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.650 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>90% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.564 g/cm³</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">RESULTADOS:</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 3.2 %</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 2.6 %</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 2.1 %</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> $Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$ </td> <td style="text-align: center;">= 5327</td> </tr> </table>		METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.737 g/cm³	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.0 %	95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.650 g/cm³	90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.564 g/cm³	RESULTADOS:		Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"	= 3.2 %	Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"	= 2.6 %	Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"	= 2.1 %	OBSERVACIONES:		MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)		$Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$	= 5327
METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557																										
MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.737 g/cm³																										
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.0 %																										
95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.650 g/cm³																										
90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.564 g/cm³																										
RESULTADOS:																											
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"	= 3.2 %																										
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"	= 2.6 %																										
Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"	= 2.1 %																										
OBSERVACIONES:																											
MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)																											
$Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$	= 5327																										
EC = 56 GOLPES																											
EC = 25 GOLPES																											
EC = 12 GOLPES																											
																											
Observaciones:																											
LABORATORIO GEOMET S.A.C.																											
Nombre:	REVISADO	SUPERVISOR																									
Firma:	Nombre:	Nombre:																									
																											
Fecha: Diciembre del 2022	Fecha: Diciembre del 2022	Fecha:																									
RESPONSABLE DE LABORATORIO																											

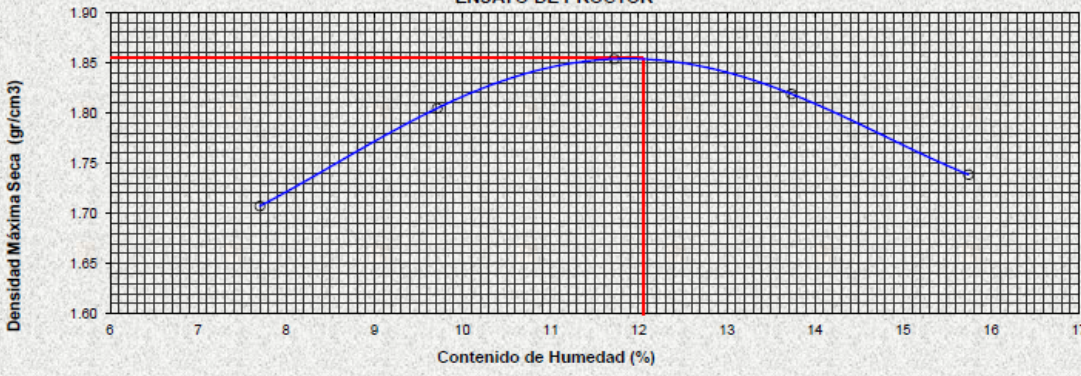
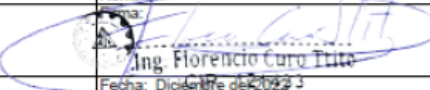


GEOMET S.A.C.
INGENIEROS ASOCIADOS

OBRA:

MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA
SUBRASANTE DE LA AV. WIRACocha DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS -
CUSCO", A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

3% de cemento

 GEOMET S.A.C. INGENIEROS ASOCIADOS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS ENSAYO DE PROCTOR (NORMA NTP 339.141)																			
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACocha DISTRITO DE SUCUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP																				
UBICACIÓN: DISTRITO: CUSCO PROVINCIA: CANCHIS DEPARTAMENTO: SUCUANI																				
SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA																				
DATOS DE MUESTRA																				
Concepto: EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		Fecha: Diciembre del 2022																		
Ubicación: AV. WIRACocha		Calicata: C-1																		
Estructura: -		Prof. (m): -																		
Localización: -		Hecho por: J.C.E.																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th colspan="4">DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</th> <th colspan="2">CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE</th> </tr> <tr> <td>MÉTODO</td> <td>C</td> <td>Nº de capas</td> <td>5</td> <td>PESO</td> <td>6,157 gr.</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO DE MOLDE</td> <td>6"</td> <td>Nº de golpes</td> <td>56Glp</td> <td>VOLUMEN</td> <td>2,130 cm³</td> </tr> </table>			DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE		MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.	DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm ³
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE																
MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.															
DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm ³															
3.0 % de cemento																				
COMPACTACION																				
ENSAYO Nº	1	2	3	4	5															
Peso suelo + molde (gr.)	10,073	10,374	10,568	10,563	10,443															
Peso molde (gr.)	6,157	6,157	6,157	6,157	6,157															
Peso suelo compactado (gr.)	3,916	4,217	4,411	4,406	4,286															
Volumen del molde (cm ³)	2,130	2,130	2,130	2,130	2,130															
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.839	1.980	2.071	2.069	2.012															
HUMEDAD (%)																				
Tara Nº	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05															
Tara + suelo húmedo (gr.)	1,056.3	992.4	1,020.9	992.1	947.9															
Tara + suelo seco (gr.)	1,018.7	951.0	967.9	936.6	891.4															
Peso de agua (gr.)	37.6	41.5	53.0	55.6	56.5															
Peso de tara (gr.)	530.0	524.0	516.0	532.0	532.6															
Peso de suelo seco (gr.)	488.7	427.0	451.9	404.6	358.8															
Humedad (%)	7.70	9.71	11.72	13.73	15.74															
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.707	1.805	1.854	1.819	1.739															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS DE PROCTOR</th> <th colspan="2">CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO</th> </tr> <tr> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.855</td> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.855</td> </tr> <tr> <td>Óptimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.0</td> <td>Óptimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.0</td> </tr> </table>						RESULTADOS DE PROCTOR		CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO		Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.855	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.855	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0			
RESULTADOS DE PROCTOR		CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO																		
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.855	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.855																	
Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.0																	
ENSAYO DE PROCTOR 																				
OBSERVACIONES 																				
LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO	SUPERVISOR																	
Nombre: _____ Firma: 		Nombre: _____ Firma: 	Nombre: _____ Firma: _____																	
Fecha: Diciembre del 2022 		Fecha: Diciembre del 2022 Ing. Florencio Caro Tito RESPONSABLE DE LABORATORIO		Fecha: _____																

134

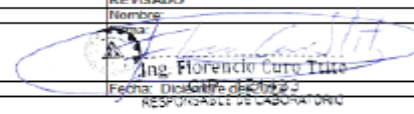


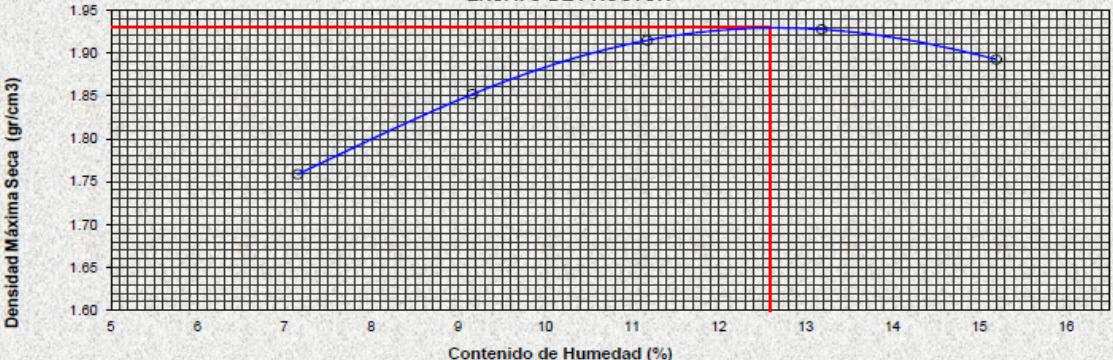
GEOMET S.A.C.
INGENIEROS ASOCIADOS

OBRA:

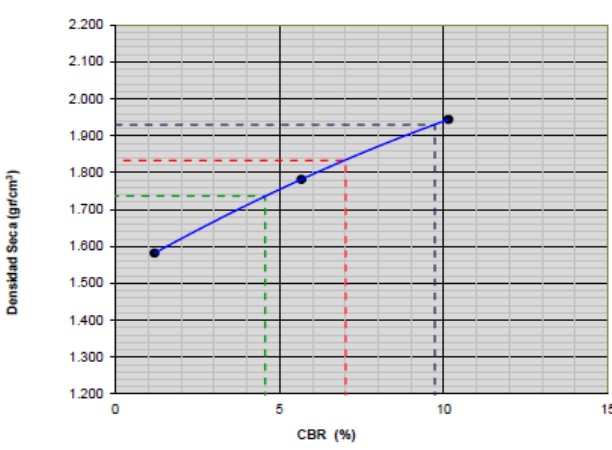
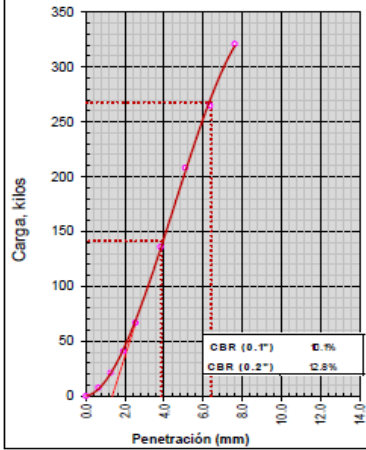
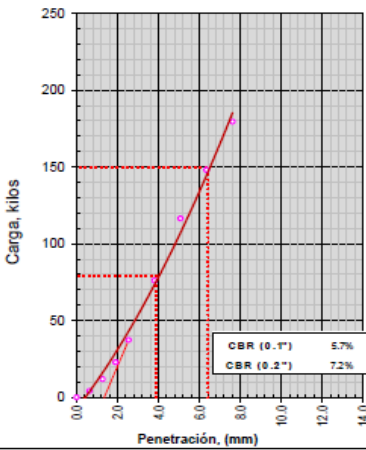
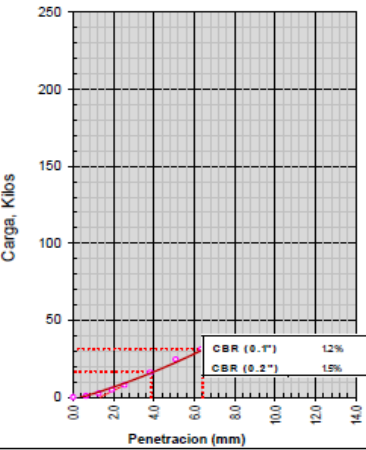
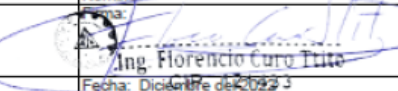
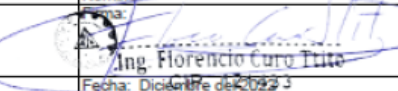
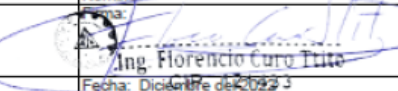
MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA
SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS -
CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

6% de cemento

LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO	SUPERVISOR
Nombre:		Nombre:	
Firma:			Firma:
Fecha:	Diciembre del 2022	Fecha: Diciembre del 2022	Fecha:
	RESPONSABLE DE LABORATORIO		

	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS ENSAYO DE PROCTOR (NORMA NTP 339.141)																			
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCCHA DISTRITO DE SUCUNI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP																				
UBICACIÓN: DISTRITO: <u>CUSCO</u> PROVINCIA: <u>CANCHIS</u> DEPARTAMENTO: <u>SUCUNI</u>																				
SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA																				
DATOS DE MUESTRA																				
Concepto: <u>EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION</u>		Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>																		
Ubicación: <u>AV. WIRACOCCHA</u>		Calicata: <u>C-1</u>																		
Estructura: <u>-</u>		Prof. (m): <u>-</u>																		
Localización: <u>-</u>		Hecho por: <u>J.C.E.</u>																		
6% de cemento																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</th> <th colspan="2">CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MÉTODO</td> <td>C</td> <td>Nº de capas</td> <td>5</td> <td>PESO</td> <td>6,157 gr.</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO DE MOLDE</td> <td>6"</td> <td>Nº de golpes</td> <td>56Glp</td> <td>VOLUMEN</td> <td>2,130 cm³</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE		MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.	DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm ³
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE																
MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.															
DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm ³															
COMPACTACION																				
ENSAYO Nº	1	2	3	4	5															
Peso suelo + molde (gr.)	10,152	10,443	10,670	10,783	10,780															
Peso molde (gr.)	6,157	6,157	6,157	6,157	6,157															
Peso suelo compactado (gr.)	3,995	4,286	4,513	4,626	4,623															
Volumen del molde (cm ³)	2,130	2,130	2,130	2,130	2,130															
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.876	2.012	2.119	2.172	2.170															
HUMEDAD (%)																				
Tara Nº	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05															
Tara + suelo húmedo (gr.)	1,056.3	992.4	1,020.9	992.1	947.9															
Tara + suelo seco (gr.)	1,023.5	955.1	972.2	940.3	894.7															
Peso de agua (gr.)	32.8	37.3	48.7	51.8	53.2															
Peso de tara (gr.)	530.0	524.0	516.0	532.0	532.6															
Peso de suelo seco (gr.)	493.5	431.1	456.2	408.3	362.1															
Humedad (%)	6.65	8.66	10.67	12.68	14.69															
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.759	1.852	1.915	1.927	1.892															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS DE PROCTOR</th> <th colspan="2">CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.930</td> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.930</td> </tr> <tr> <td>Óptimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.1</td> <td>Óptimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.1</td> </tr> </tbody> </table>						RESULTADOS DE PROCTOR		CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO		Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.930	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.930	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.1	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.1			
RESULTADOS DE PROCTOR		CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO																		
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.930	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³):	1.930																	
Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.1	Óptimo Contenido de Humedad (%):	12.1																	
ENSAYO DE PROCTOR																				
																				
OBSERVACIONES 																				
LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO		SUPERVISOR																
Nombre: _____ Firma: _____		Nombre: _____ Firma: _____		Nombre: _____ Firma: _____																
Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>		Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>		Fecha: _____																
Ing. Florencio Curo Inta RESPONSABLE DE LABORATORIO																				

 GEOMET S.A.C. INGENIERIA DE SUELOS Y PAVIMENTOS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145		
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP			
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CANCHIS DISTRITO: SICUANI			
SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA			
DATOS DE MUESTRA			
Concepto: EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		Fecha: Diciembre del 2022	
Ubicación: AV. WIRACOCCHA		Calicata: C-1	
Estructura: -		Prof. (m): -	
Localización: -		Hecho por: J.C.E.	
6% de cemento			
CALCULO DEL CBR			
Capas N°	5		5
Golpes por capa N°	56		25
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Molde N°	M-7		M-8
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11913		10939
Peso de molde (g)	7294		7234
Peso del suelo húmedo (g)	4619		3705
Volumen del molde (cm³)	2120		2090
Densidad húmeda (g/cm³)	2.179		1.773
Tara (N°)	T-08		T-10
Peso suelo húmedo + tara (g)	1029.1		1060.0
Peso suelo seco + tara (g)	972.5		1002.1
Peso de tara (g)	504.8		523.6
Peso de agua (g)	56.6		57.8
Peso de suelo seco (g)	467.7		478.5
Contenido de humedad (%)	12.09		12.08
Densidad seca (g/cm³)	1.944		1.582
EXPANSION			
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL
		EXPANSION	
		mm %	
DIA 0	11:30:00	0	302.0
DIA 1	11:30:00	24	326.0
DIA 2	11:30:00	48	354.2
DIA 3	11:30:00	72	387.0
DIA 4	11:30:00	96	395.0
PENETRACION			
PENETRACION	CARGA	MOLDE N°	M-07
Diametro piston: 5.02	STAND.	CARGA	CORRECCION
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)
0.000	0.000		0
0.635	0.025		7.5
1.270	0.050		21.1
1.905	0.075		40.8
2.540	0.100	70.5	66.6
3.810	0.150		136.0
5.080	0.200	105.7	208.1
6.350	0.250		264.5
7.620	0.300		321.0
10.160	0.400		409.4
Observaciones:			
LABORATORIO GEOMET S.A.C.			
Nombre:	REVISADO		SUPERVISOR
Firma:	Nombre:		Nombre:
	Firma:		Firma:
Fecha: Diciembre del 2022	Ing. Florencio Curo Tute		Fecha: Diciembre del 2022
	RESPONSABLE DE LABORATORIO		

 GEOMET S.A.C. INGENIEROS ESPECIALISTAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145										
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP											
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: <u>CUSCO</u> PROVINCIA: <u>CANCHIS</u> DISTRITO: <u>SICUANI</u>											
SOLICITANTE: <u>GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA</u>											
DATOS DE MUESTRA											
Concepto: <u>EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION</u>		Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>									
Ubicación: <u>AV. WIRACOCHA</u>		Calicata: <u>C-1</u>									
Estructura: <u>-</u> Lado: <u>-</u>		Prof. (m): <u>-</u>									
Localización: <u>-</u>		Hecho por: <u>J.C.E.</u>									
6% de cemento											
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CBR											
DETERMINACION DE CBR 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>METODO DE COMPACTACION</td> <td>: ASTM D-1557</td> </tr> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.930 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>: 12.1 %</td> </tr> <tr> <td>95% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.833 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>90% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.737 g/cm³</td> </tr> </table> RESULTADOS: Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1" = 9.7 % Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1" = 7.0 % Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1" = 4.6 % OBSERVACIONES: MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR) $Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$ = 10955	METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.930 g/cm³	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.1 %	95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.833 g/cm³	90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.737 g/cm³
METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557										
MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.930 g/cm³										
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.1 %										
95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.833 g/cm³										
90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.737 g/cm³										
EC = 56 GOLPES 	EC = 25 GOLPES 	EC = 12 GOLPES 									
Observaciones: _____											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"> LABORATORIO GEOMET S.A.C. </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> REVISADO </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> SUPERVISOR </td> </tr> <tr> <td> Nombre: _____ Firma:  </td> <td> Nombre: _____ Firma:  </td> <td> Nombre: _____ Firma: _____ </td> </tr> <tr> <td> Fecha: <u>Diciembre del 2022</u> </td> <td> Fecha: <u>Diciembre del 2022</u> RESPONSABLE DEL LABORATORIO </td> <td> Fecha: _____ </td> </tr> </table>			LABORATORIO GEOMET S.A.C.	REVISADO	SUPERVISOR	Nombre: _____ Firma: 	Nombre: _____ Firma: 	Nombre: _____ Firma: _____	Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>	Fecha: <u>Diciembre del 2022</u> RESPONSABLE DEL LABORATORIO	Fecha: _____
LABORATORIO GEOMET S.A.C.	REVISADO	SUPERVISOR									
Nombre: _____ Firma: 	Nombre: _____ Firma: 	Nombre: _____ Firma: _____									
Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>	Fecha: <u>Diciembre del 2022</u> RESPONSABLE DEL LABORATORIO	Fecha: _____									

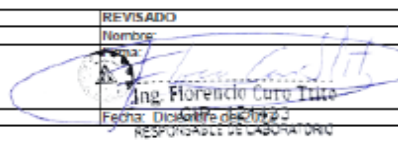


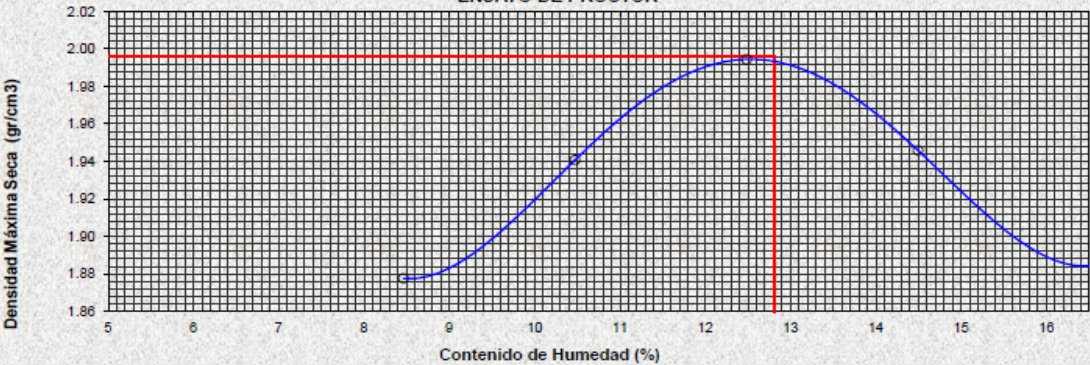
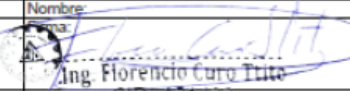
GEOMET S.A.C.
INGENIEROS ASOCIADOS

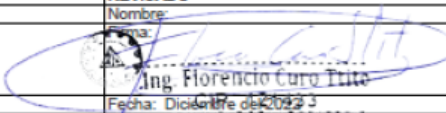
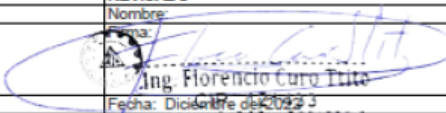
OBRA:

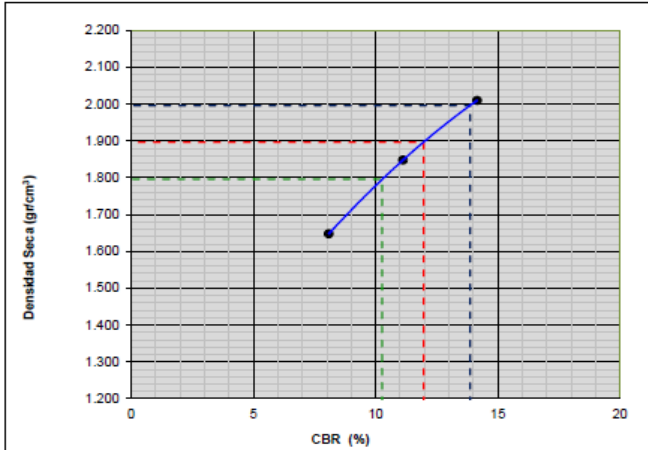
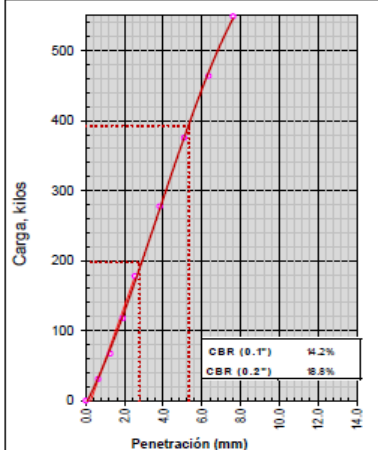
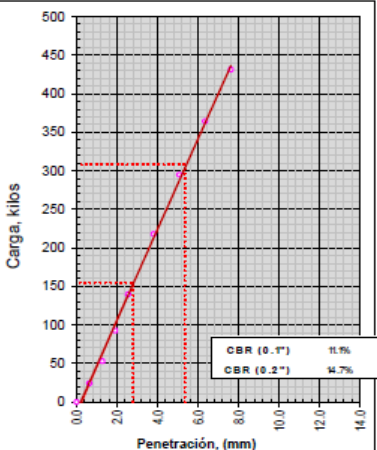
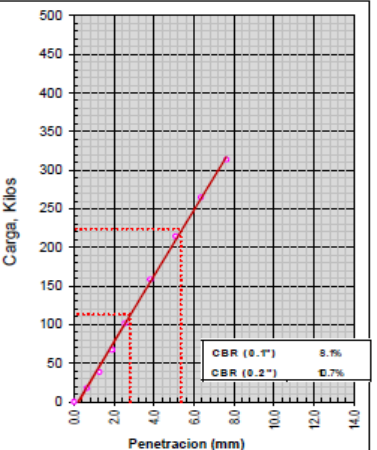
MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA
SUBRASANTE DE LA AV. WIRACocha DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS -
CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

9% de cemento

LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO	SUPERVISOR
Nombre:		Nombre:	
Firma:			Firma:
Fecha: Diciembre del 2021	Ing. Florencio Cure Tiza	Fecha: Diciembre del 2021	Fecha:
CALLE PROMESA 1001 - PUNTA GRUPO 1001 - PUNTA GRUPO 1001 - PUNTA GRUPO 1001		RESPONSABLE DE LABORATORIO	

	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS ENSAYO DE PROCTOR (NORMA NTP 339.141)																				
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP																					
UBICACIÓN: DISTRITO: CUSCO		PROVINCIA: CANCHIS																			
DEPARTAMENTO: SICUANI																					
SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA																					
DATOS DE MUESTRA																					
Concepto: EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		Fecha: Diciembre del 2022																			
Ubicación: AV. WIRACOCCHA		Calicata: C-1																			
Estructura: -		Prof. (m): -																			
Localización: -		Hecho por: J.C.E.																			
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</th> <th colspan="2">CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE</th> </tr> <tr> <td>MÉTODO</td> <td>C</td> <td>Nº de capas</td> <td>5</td> <td>PESO</td> <td>6,157 gr.</td> </tr> <tr> <td>DIAMETRO DE MOLDE</td> <td>6"</td> <td>Nº de golpes</td> <td>56Glp</td> <td>VOLUMEN</td> <td>2,130 cm³</td> </tr> </table>		DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE		MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.	DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm³		
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO				CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE																	
MÉTODO	C	Nº de capas	5	PESO	6,157 gr.																
DIAMETRO DE MOLDE	6"	Nº de golpes	56Glp	VOLUMEN	2,130 cm³																
9% de cemento																					
COMPACTACION																					
ENSAYO N°	1	2	3	4	5																
Peso suelo + molde (gr.)	10,475	10,703	10,914	10,882	10,813																
Peso molde (gr.)	6,157	6,157	6,157	6,157	6,157																
Peso suelo compactado (gr.)	4,318	4,546	4,757	4,725	4,656																
Volumen del molde (cm³)	2,130	2,130	2,130	2,130	2,130																
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.027	2.134	2.233	2.218	2.186																
HUMEDAD (%)																					
Tara N°	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05																
Tara + suelo húmedo (gr.)	1,056.3	992.4	1,020.9	992.1	947.9																
Tara + suelo seco (gr.)	1,017.5	949.9	966.9	935.6	890.6																
Peso de agua (gr.)	38.8	42.5	54.0	56.5	57.3																
Peso de tara (gr.)	530.0	524.0	516.0	532.0	532.6																
Peso de suelo seco (gr.)	487.5	425.9	450.9	403.6	358.0																
Humedad (%)	7.96	9.97	11.98	13.99	16.00																
Densidad Seca (gr/cm³)	1.878	1.941	1.994	1.946	1.884																
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS DE PROCTOR</th> </tr> <tr> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.996</td> </tr> <tr> <td>Optimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.3</td> </tr> </table>			RESULTADOS DE PROCTOR		Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.996	Optimo Contenido de Humedad (%):	12.3	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO</th> </tr> <tr> <td>Máxima Densidad Seca (gr/cm³):</td> <td>1.996</td> </tr> <tr> <td>Optimo Contenido de Humedad (%):</td> <td>12.3</td> </tr> </table>			CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO		Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.996	Optimo Contenido de Humedad (%):	12.3				
RESULTADOS DE PROCTOR																					
Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.996																				
Optimo Contenido de Humedad (%):	12.3																				
CORRECCIÓN DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRETAMAÑO																					
Máxima Densidad Seca (gr/cm³):	1.996																				
Optimo Contenido de Humedad (%):	12.3																				
ENSAYO DE PROCTOR 																					
OBSERVACIONES 																					
LABORATORIO GEOMET S.A.C.		REVISADO		SUPERVISOR																	
Nombre: Firma: 		Nombre: Firma: 		Nombre: Firma: 																	
Fecha: Diciembre del 2022		Fecha: Diciembre del 2022		Fecha:																	

 GEOMET S.A.C. INGENIEROS ASOCIADOS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS												
	RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145												
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP													
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CANCHIS DISTRITO: SICUANI		SOLICITANTE: GRIFORD NICANOR MENDOZA RIOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA											
DATOS DE MUESTRA													
Concepto: EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION		Fecha: Diciembre del 2022											
Ubicación: AV. WIRACOCCHA		Calicata: C-1											
Estructura: -		Prof. (m): -											
Localización: -		Hecho por: J.C.E.											
9% de cemento													
CALCULO DEL CBR													
Capas N°	5		5										
Golpes por capa N°	56		25										
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO										
Molde N°	M-10		M-12										
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12041		12369										
Peso de molde (g)	7190		8445										
Peso del suelo húmedo (g)	4851		3924										
Volumen del molde (cm³)	2140		2121										
Densidad húmeda (g/cm³)	2.257		1.851										
Tara (N°)	T-11		T-13										
Peso suelo húmedo + tara (g)	994.8		986.3										
Peso suelo seco + tara (g)	926.3		915.2										
Peso de tara (g)	369.5		346.6										
Peso de agua (g)	68.5		70.1										
Peso de suelo seco (g)	556.8		569.6										
Contenido de humedad (%)	12.31		12.30										
Densidad seca (g/cm³)	2.010		1.648										
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION					
				mm	%		mm	%					
DIA 0	02:30:00	0	95.2			157.0							
DIA 1	02:30:00	24	103.0	0.20	0.2	175.6	0.47	0.4					
DIA 2	02:30:00	48	123.6	0.72	0.6	195.8	0.99	0.9					
DIA 3	02:30:00	72	159.6	1.64	1.4	228.7	1.82	1.6					
DIA 4	02:30:00	96	172.0	1.95	1.7	248.0	2.31	2.0					
PENETRACION				PENETRACION				PENETRACION					
PENETRACION		CARGA	MOLDE N°	M-10		MOLDE N°		M-11		MOLDE N°		M-12	
Dímetro pistón: 5.02		STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	%
0.000	0.000			0				0				0	
0.635	0.025			30.7				24.1				17.5	
1.270	0.050			67.2				52.8				38.4	
1.905	0.075			117.6				92.4				67.2	
2.540	0.100	70.5		177.8	197	14.2		139.7	155	11.1		101.6	112.8
3.810	0.150			277.2				217.8				158.4	
5.080	0.200	105.7		375.2	392	18.8		294.8	308	14.7		214.4	224
6.350	0.250			463.4				364.1				284.8	
7.620	0.300			548.8				431.2				313.6	
10.160	0.400			697.2				547.8				398.4	
Observaciones:													
LABORATORIO GEOMET S.A.C.													
REVISADO				SUPERVISOR									
Nombre: 				Nombre:									
Firma: 				Firma:									
Fecha: Diciembre del 2022				Fecha: Diciembre del 2022									
RESPONSABLE DE LABORATORIO													

 GEOMET S.A.C. INGENIEROS ASOCIADOS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: NTP 339.145																								
TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA AV. WIRACOCHA DISTRITO DE SICUANI - PROVINCIA CANCHIS - CUSCO*, A TRAVÉS DEL USO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP																									
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: <u>CUSCO</u> PROVINCIA: <u>CANCHIS</u> DISTRITO: <u>SICUANI</u>																									
SOLICITANTE: <u>GRIFORD NICANOR MENDOZA RÍOS - WILLY DONNIE SONCCO PUMA</u>																									
DATOS DE MUESTRA																									
Concepto: <u>EVALUACION DE TERRENO DE FUNDACION</u>		Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>																							
Ubicación: <u>AV. WIRACOCHA</u>		Calicata: <u>C-1</u>																							
Estructura: <u>-</u>	Lado: <u>-</u>	Prof. (m): <u>-</u>																							
Localización: <u>-</u>		Hecho por: <u>J.C.E.</u>																							
9% de cemento																									
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CBR																									
DETERMINACIÓN DE CBR 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>METODO DE COMPACTACION</td> <td>: ASTM D-1557</td> </tr> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.996 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</td> <td>: 12.3 %</td> </tr> <tr> <td>95% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.896 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>90% MAXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>: 1.796 g/cm³</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">RESULTADOS:</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 13.9 %</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 12.0 %</td> </tr> <tr> <td>Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"</td> <td>= 10.3 %</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> $Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$ </td> <td style="text-align: center;">= 13753</td> </tr> </table>	METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.996 g/cm³	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.3 %	95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.896 g/cm³	90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.796 g/cm³	RESULTADOS:		Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"	= 13.9 %	Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"	= 12.0 %	Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"	= 10.3 %	OBSERVACIONES:		MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)		$Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$	= 13753
METODO DE COMPACTACION	: ASTM D-1557																								
MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.996 g/cm³																								
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	: 12.3 %																								
95% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.896 g/cm³																								
90% MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.796 g/cm³																								
RESULTADOS:																									
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 1"	= 13.9 %																								
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 1"	= 12.0 %																								
Valor de C.B.R. al 90% de la M.D.S. a 1"	= 10.3 %																								
OBSERVACIONES:																									
MODULO RESILIENTE DEL SUELO (ecuación que correlaciona el Mr – CBR)																									
$Mr (psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$	= 13753																								
EC = 56 GOLPES 	EC = 25 GOLPES 	EC = 12 GOLPES 																							
Observaciones: _____																									
LABORATORIO GEOMET S.A.C.																									
Nombre: _____ Firma: 	REVISADO Nombre: _____ Firma: 	SUPERVISOR Nombre: _____ Firma: _____																							
Fecha: <u>Diciembre del 2022</u>	Fecha: <u>Diciembre del 2022</u> RESPONSABLE DEL LABORATORIO	Fecha: _____																							

Anexo N° 02: Análisis granulométrico por tamizado Muestra Patrón – NORMA**NTP – 339.128**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
8"	203.200				
6"	152.400				
4"	101.600				
3"	76.200				
2"	50.800				
1 ½"	38.100				
1"	25.400				
¾"	19.000				100.0
½"	12.700	19	1.5	1.5	98.5
3/8"	9.520	14	1.1	2.6	97.4
¼"	6.350				
N°04	4.750	52	4.0	6.6	93.4
N°08	2.360				
N°10	2.000	104.2	8.1	14.7	85.3
N°16	1.190				
N°20	0.850	78.4	8.1	20.8	79.3
N°30	0.600				
N°40	0.420	37.0	2.9	23.6	76.4
N°50	0.300				
N°60	0.250				
N°80	0.180				
N°100	0.150	47.2	3.7	27.3	72.7
N°200	0.074	41.4	3.2	30.5	69.5
PASANTE		896.8	69.5	100.0	

CARACTERISTICAS

Grava: 6.6%
Arena: 23.9%
Fino: 69.5%

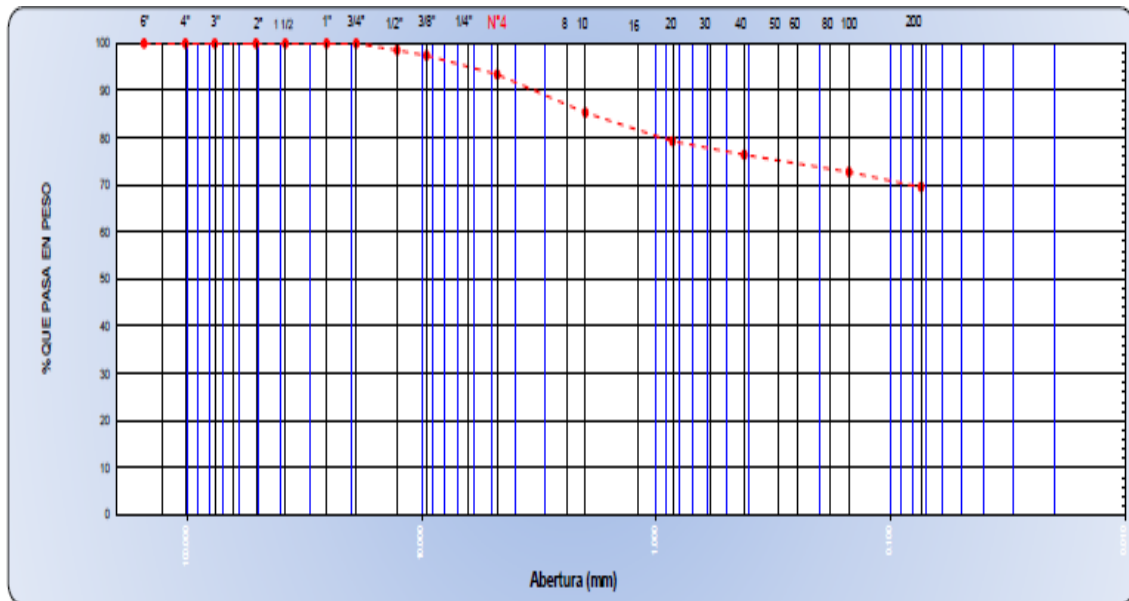
PLASTICIDAD

Límite líquido: 44%
Límite plástico: 16%
Índice de plasticidad: 28%

PESOS DE CORRECCION DE SUELO

Peso de suelo seco total: 1.290 gr
Muestras: suelo seco < N°04 1.205.0 gr
Tamaño máximo: ¾”
Tamaño máximo nominal: ½”
CLASIFICACION AASHTO: A -7-6 (15)
SUCS: CL – arcilla limosa

Curva Granulométrica – Muestra Patrón



LIMITES DE ATTERBERG MUESTA PATRON – (NORMA MTC E – 110 111)

LIMITE LIQUIDO

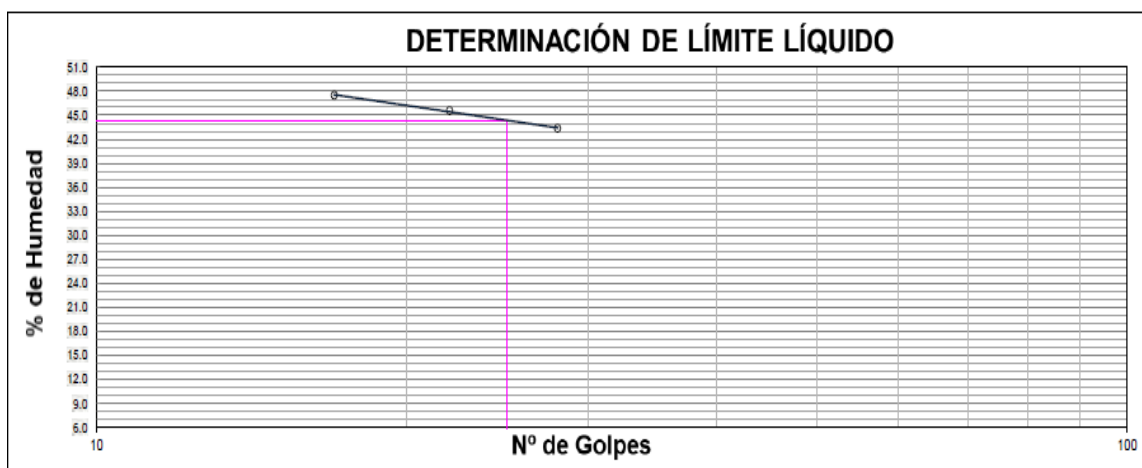
ENSAYO N°	UND	1	2	3
N°de Golpes		28	22	17
Recipiente N°		T-1	T-2	T-3
Peso del recipiente + suelo hum.	Grs.	50.33	52.49	53.83
Peso del recipiente + suelo seco	Grs.	47.50	48.90	50.61
Peso agua	Grs.	2.83	3.59	3.22
Peso de recipiente	Grs.	40.97	41.03	43.82
Peso de suelo seco	Grs.	6.53	7.87	6.79
% de Humedad	%	43.36	45.59	47.50

LIMITE PLASTICO

ENSAYO N°	UND	1	2
Recipiente N°		T-1	T-2
Peso del recipiente + suelo hum.	Grs.	66.65	67.65
Peso del recipiente + suelo seco	Grs.	63.12	63.94
Peso agua	Grs.	3.53	3.71
Peso de recipiente	Grs.	40.97	41.03
Peso de suelo seco	Grs.	22.15	22.91
% de Humedad	%	15.95	16.17

RESULTADOS MUESTRA – PATRON

Limite liquido	44%
Limite plástico	16%
Índice de plasticidad	28%

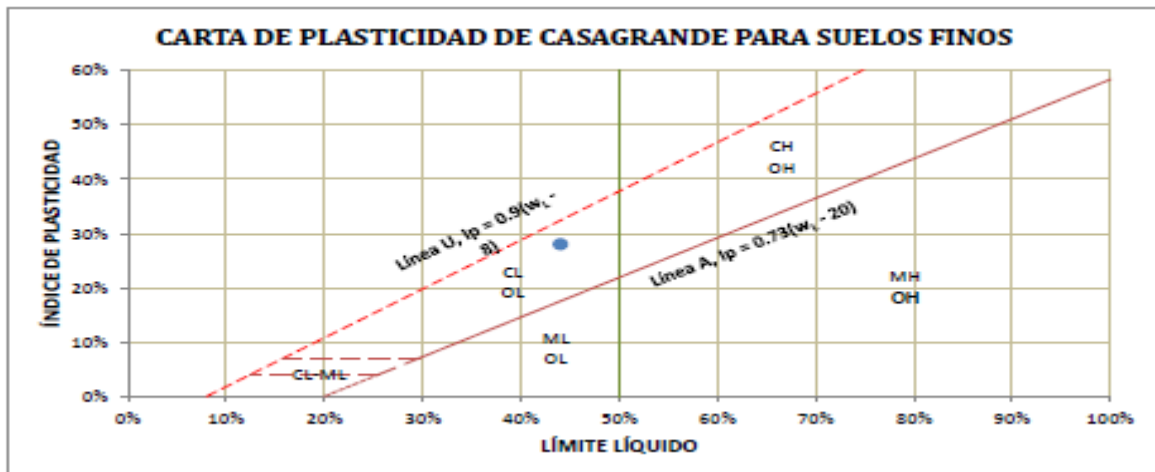
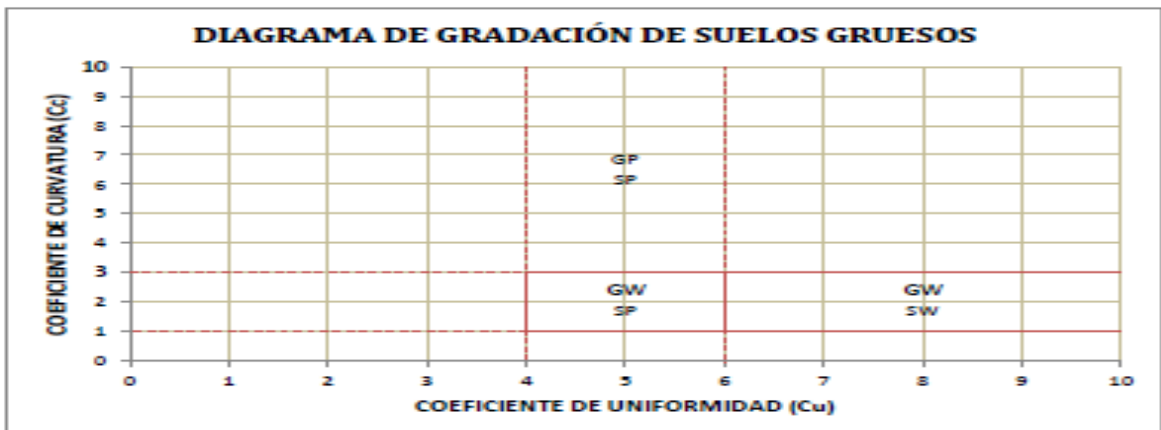
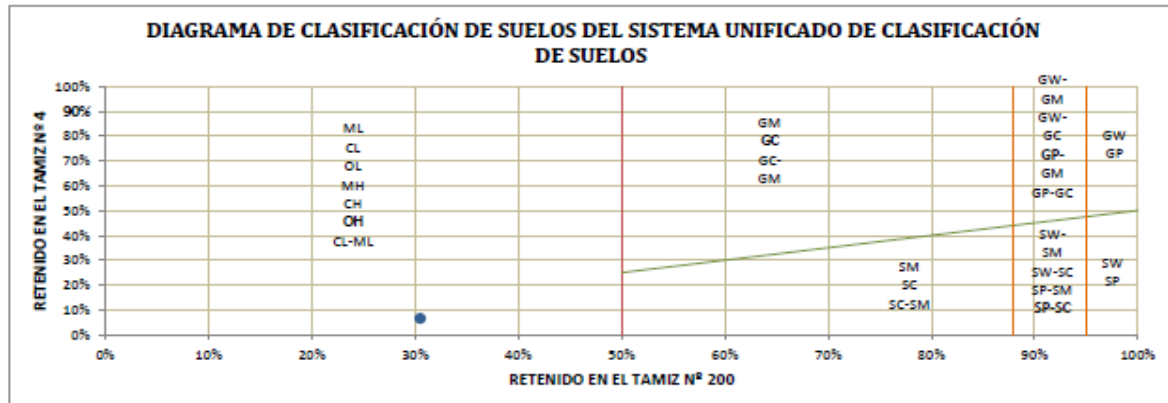


SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DEL SUELO (SUCS) ASTM D -2487

DATOS PARA LA CLASIFICACION	CRITERIOS PARA LA ASIGNACION DE SIMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO.					
GRANULOMETRIA	SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS	GRAVAS Mas del 50% de la fricción gruesa es retenida en la malla N°04	GRAVAS LIMPIAS	Cu > 4 y 1 < CC < 3	GW	GRAVA BIEN GRADUADA
% de gruesos – 30.5%			Menos del 5% pasa la malla N°200	Cu < 4 o 1> Cc >3	GP	GRAVA MAL GRADUADA
% de finos – 69.5%			GRAVAS CON FINOS	Ip < 4 o debajo de la línea “A” en la carta de plasticidad.	GM	GRAVA LIMOSA
TOTAL – 100.0%			Mas del 12% pasa la malla N°200	Ip > 7 y arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad.	GC	GRAVA ARCILLOSA
% de grava = 6.6%			GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5% y 12% pasa malla N°200	4<IP<7 Y arriba de la línea “A” en carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de arena = 23.9%		Cumple los criterios para GW Y GM		GC-GM	Grava bien graduada con limo	
TOTAL = 30.5%		Cumple criterios para GW Y GC o para GW y GC - GM		GW-GM	Grava bien graduada con arcilla	
FRACCION GRUESA		Cumple criterios para GP Y GM		GP-GM	Grava mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC -GM		GP - GC	Grava mal graduada con arcilla.	
		ARENAS El 50% o más	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N°200	Cu > 6 y 1< Cc < 3	SW	Arena bien graduada
				Cu < 6 y 1> Cc > 3	SP	Arena mal graduada

% de grava = 21.61%			de la fracción gruesa pasa la malla N°04	ARENA CON FINOS Mas del 12% pasa malla N°200	IP< 4 o debajo de la línea “A” en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
					IP >7 y arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
					4< IP y arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	SC-SM	Arena limosa arcillosa
% de arena = 78.39%			ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre 5 y 12 % pasa malla N°200	Cumple con los criterios para SW Y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
				Cumple los criterios para SW Y SC o para SW y SC - SM	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
				Cumple los criterios para SP Y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo	
				Cumple los criterios para SP Y SC o para SP Y SC-SM	SP-SC	Arena mal graduada con arcilla	
TOTAL = 100.00%			SUELOS DE PARTICULAS FINAS El 50% o más pasa la malla N°200	LIMOS Y ARCILLAS Limite liquido menor que 50	Inorgánicos	IP < 4 o debajo de la línea “A” en la carta de plasticidad	ML
	IP>7 y arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	CL				Arcilla de baja plasticidad	
	4< IP < 7 y arriba de la línea “A” en la carta de plasticidad	CL - ML				Arcilla limosa	
	orgánico	Limite liquido secado al horno Limite liquido no secado < 0.75			OL	Limo orgánico Arcilla orgánica	
	COEFICIENTES	LIMOS Y ARCILLAS		Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea “A”	MH	Limo de alta plasticidad
Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea “A”					CH	Arcilla de alta plasticidad	

		Limite liquido 50 o mayor	orgánico	<u>Limite liquido secado al horno</u> Limite liquido no secado < 0.75	OH	<u>Limo orgánico</u> Arcilla orgánica
Cu = -	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	turba
CC = -						
LIMITES DE CONSISTENCIA						
LL = 44.0%						
LP = 16.0%						
IP = 28.0%						
Tipo = inorgánico						



DATOS PARA LA CLASIFICACION			
DE GRANULOMETRIA		De límites de consistencia	Otros datos
% que pasa el tamiz N°10 =	85.33%	LL = 44.00%	Tipo = inorgánico
% que pasa el tamiz N°40 =	76.38%	LP =16.00%	
% que pasa el tamiz N°200 =	69.51%	IP = 28.00%	

CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN AASHTO M-145

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz N°200)						MATERIALES LIMO – ARCILLOSOS (mas de 35% pasa el tamiz N°200)				
GRUPOS	A-1		A-3					A-4	A-5	A-6	A-7
SUB GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz N° 10 N°40 N°200											
	50 max.										
	30 max.	50 max.	51 min								
	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N°40 Limite liquido Índice de plasticidad											
			No plástico	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41min.	40 max.	41 min.
	6 max.	6 max.		10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 max.	11 min.
Índice de grupo	0	0	0		0	4 max.	4 max.	8 max.	16 max.	16 max.	20m ax.
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)
A-7-6 (15)
Las arcillas y limos más plásticos

CALCULO DEL INDICE DE GRUPO

F = 69.51 F= porcentaje de partículas solidas que pasan el tamiz N°200
WL = 44.00 WL = limite liquido
Ip = 28.00 Ip = índice de plasticidad

$$IG = 0.2 a + 0.005ac + 0.01bd$$

a = F – 35	a = 34.51	a = 34.51
b = F – 15	b = 54.51	b = 40.00
C = wl – 40	c = 4.00	c = 4.00
d = Ip -10	d = 18.00	d = 18.00

IG = 15

CONTENIDO DE HUMEDAD (Norma NTP 339.127)

ENSAYO N°	UND	1	2	PROMEDIO
RECIPIENTE N°		T-6		
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	Grs.	2837.3		
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO SECO	Grs.	2444.1		
PESO DE AGUA	Grs.	393.2		
PESO DE RECIPIENTE	Grs.	512.8		
PESO DE S. SECO	Grs.	1,931.3		
% DE HUMEDAD	%	20.4		20.4 %

ENSAYOS DE PROCTOR NTP NORMA 339.141 DATOS DE MUESTRA

DESCRIPCION DEL ENSAYO				CARACTERISTICAS DEL MOLDE	1
METODO	C	N° DE CAPAS	5	PESO	6,157 gr
DIAMETRO DEL MOLDE	6"	N° DE GOLPES	56 GOPES	VOLUMEN	2n130. Cm3

COMPACTACION

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
PESO SUELO + MOLDE (gr.)	9,885	10,094	10,284	10,259	10,104
PESO MOLDE (gr)	6,157	6,157	6,157	6,157	6,157
PESO SUELO COMPACTADO (gr)	3,728	3,937	4,127	4,102	3,947
VOLUMEN DEL MOLDE (CM3)	2,130	2,130	2,130	2,130	2,130
DENSIDAD HUNEDA (gr /cm3)	1.750	1.848	1.937	1.926	1.853

HUMEDAD (%)

<u>TARA N°</u>	<u>T-01</u>	<u>T-02</u>	<u>T-03</u>	<u>T-04</u>	<u>T-05</u>
TARA + SUELO HUM. (gr)	1,056.3	992.4	1,020.9	992.1	947.9
TARA + SUELO SECO (gr)	1,019.1	951.3	968.3	936.9	891.7
PESO DE AGUA (gr)	37.2	41.1	52.6	55.2	56.2
PESO DE TARA (gr)	530.0	524.0	516.0	532.0	532.6
PESO DE SUELO SECO (gr)	489.1	427.3	452.3	404.9	359.1
HUMEDAD %	7.60	9.61	11.62	13.63	15.64
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.627	1.686	1.736	1.695	1.602

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima densidad seca (gr/cm3)	1.737
Optimo contenido de humedad (%)	12.0

CORRECCION DEL PROCTOR MODIFICADO POR SOBRE TAMAÑO	
Máxima densidad seca (gr/cm3)	1.737
Optimo contenido de humedad (%)	12.0

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) NORMA TECNICA 339.145

CALCULO DEL CBR						
CAPAS N°	5		5		5	
GOLPES POR CAPA N°	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
MOLDE N°	M-1		M-2		M-3	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	11371		10815		10220	
PESO DE MOLDE (g)	7239		7177		6945	
PESO DEL SUELO HUMEDO (g)	1432		3638		3275	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	2121		2059		2123	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	1.948		1.767		1.543	
TARA N°	T-02		T-03		T-04	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)	1022.0		1013.6		1009.3	
PESO SUELO SECO +TARA (g)	968.8		958.5		995.0	
PESO DE TARA (g)	526.3		500.5		502.3	
PESO DE AGUA (g)	53.2		55.1		54.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	442.5		457.9		452.7	
DENSIDAD SECA (g/cm3)	12.01		12.02		12.00	
	1.739		1.577		1.378	

EXPANSION											
FECH A	HORA	TIEMP O	DIA L	EXPANSIO N		DIA L	EXPANSIO N		DIA L	EXPANSIO N	
				mm	%		mm	%		mm	%
DIA 0	09:30:00	0	15.0			122.0			165.0		
DIA 1	09:30:00	24	26.3	0.29	0.2	165.3	1.10	1.0	189.7	0.63	0.5

DÍA 2	09:30:00	48	95.3	2.04	1.8	198.6	1.95	1.7	256.0	2.31	2.0
DÍA 3	09:30:00	72	126.0	2.82	2.5	206.3	2.14	1.9	338.3	4.40	3.8
DÍA 4	09:30:00	96	130.0	2.92	2.5	257.0	3.43	3.0	383.6	5.55	4.8

PENETRACION													
PENETRACION		CARGA	MOLDE N°		M-01		MOLDE N°		M-02		MOLDE N°		M-03
Diámetro pistón: 5.02		STAND	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION
mm	Pulg.	Kg/cm2	DIAL (div)	KG	KG	%	DIAL (div)	KG	KG	%	DIAL (div)	KG	KG %
0.000	0.000			0				0				0	
0.635	0.025			5.4				3.8				2.2	
1.270	0.050			11.9				8.3				4.8	
1.905	0.075			20.4				14.3				8.2	
2.540	0.100	70.5		30.0	44	3.2		21.0	31	2.2		12.0	17.6 1.3
3.810	0.150			50.8				35.6				20.3	
5.080	0.200	105.7		74.1	85	4.1		51.9	60	2.8		29.6	34 1.6
6.350	0.250			97.2				68.0				38.9	
7.620	0.300			108.6				76.0				43.4	
10.160	0.400			144.8				101.4				57.9	

<u>METODO DE COMPACTACION</u>	<u>ASTM D-1557</u>
MAXIMA DENSIDAD SECA	1.737g/cm3
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.0%
95% MAXIMA DENSIDAD SECA	1.650 g/cm3
95% MAXIMA DENSIDAD SECA	1.564 g/cm3

<u>RESULTADOS</u>	
VALOR DE CBR AL 100% DE LA MDS A 1"	3.2%
VALOR DE CBR AL 95% DE LA MDS A 1"	2.6%
VALOR DE CBR AL 90% DE LA MDS A 1"	2.1%

