



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de  
vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Br. Jalanoca Ccama, Freyre Veliz (ORCID: 0000-0001-9989-7855)

**ASESOR:**

Dr. Vargas Chacaltana, Luis Alberto (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA – PERU**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A Dios, JEHOVÁ nuestro Señor Jesucristo; por el gran amor y quien nos guio por el buen camino, brindándonos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mis queridos padres, Mario y Regina, quienes son y serán un gran ejemplo de honestidad, perseverancia y superación, en el logro de las metas a alcanzar; por haber confiado y apostado en mi persona el apoyo incondicional que me brindaron en toda situación durante mi formación profesional razón a seguir adelante con sacrificio y esfuerzo.

A mi esposa Rosmery, por comprenderme, apoyarme y entenderme cada día.

A mí querida hija Brianna Valentina, por ser la bendición que Dios me ha regalado, y pasar hacer la moción y la inspiración de seguir esforzándome en la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez; que me dio la oportunidad de ser parte de ella y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de por su labor en mi formación profesional y experiencias que me brindaron durante mi formación profesional.

A la Universidad Cesar Vallejo; por darme la oportunidad de pertenecer a su casa de estudios.

A mi asesor de tesis Dr. Ing. Luis Alberto Chacaltana, por el tiempo y apoyo brindado en el desarrollo de esta tesis.

## Índice de contenidos

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| Índice de contenidos                                | iv        |
| Índice de tablas                                    | v         |
| Índice de figuras                                   | vii       |
| Resumen                                             | ix        |
| Abstract                                            | x         |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>                              | <b>1</b>  |
| <b>II. MARCO TEÓRICO</b>                            | <b>5</b>  |
| <b>III. METODOLOGÍA</b>                             | <b>42</b> |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación                 | 42        |
| 3.2. Variables y operacionalización                 | 43        |
| 3.3. Población, muestra y muestreo                  | 43        |
| 3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos | 44        |
| 3.5. Procedimientos                                 | 45        |
| 3.6. Método de análisis de datos                    | 45        |
| 3.7. Aspectos éticos                                | 46        |
| <b>IV. RESULTADOS</b>                               | <b>49</b> |
| <b>V. DISCUSIÓN</b>                                 | <b>76</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES</b>                             | <b>79</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES</b>                         | <b>81</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>                                  | <b>82</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                       | <b>86</b> |

## Índice de tablas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Caminos con superficie de rodadura No Pavimentada                                 | 16 |
| Tabla 2. Longitud de Infraestructura Vial, según jerarquía y superficie de rodadura, 2019. | 17 |
| Tabla 3. Clasificación de subrasante                                                       | 19 |
| Tabla 4. Clasificación de subrasante                                                       | 19 |
| Tabla 5. Sub rasante según el tipo de suelo                                                | 20 |
| Tabla 6. Símbolos de grupo (SUCS)                                                          | 23 |
| Tabla 7. Tipología de suelos (SUCS)                                                        | 23 |
| Tabla 8. Clasificación de los suelos – AASHTO                                              | 25 |
| Tabla 9. Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS                                      | 26 |
| Tabla 10. Clasificación de suelos según su tamaño de partículas                            | 27 |
| Tabla 11. Gradación de suelos                                                              | 27 |
| Tabla 12. Características del suelo según el IP                                            | 30 |
| Tabla 13. Masa mínima recomendada                                                          | 31 |
| Tabla 14. Especificaciones para la prueba de proctor modificado                            | 32 |
| Tabla 15. Medidas de penetración y presión en el vástago                                   | 34 |
| Tabla 16. Clasificación del suelo en función de la subrasante                              | 34 |
| Tabla 17. Categorías de subrasante                                                         | 35 |
| Tabla 18. Categorías de subrasante                                                         | 35 |
| Tabla 19. Criterios geotécnicos para estabilizar un suelo                                  | 38 |
| Tabla 20. Características del aceite residual                                              | 41 |
| Tabla 21. Cuadro resumen de propiedades químicas del aceite residual                       | 41 |
| Tabla 22. Características de los aceites de motor usado en Colombia                        | 42 |
| Tabla 23. Método de análisis de datos                                                      | 46 |
| Tabla 24. Ubicación y descripción técnica de la cantera                                    | 52 |
| Tabla 25. Granulometría de la muestra de la calicata M-01 en estado natural                | 55 |
| Tabla 26. Resultado de clasificación SUCS, AASHTO y contenido de humedad de la M-01.       | 57 |
| Tabla 27. Resultado de limite líquido, limite plástico y índice de plasticidad de M-01     | 57 |
| Tabla 28. Resultado de compactación con energía modificada - Proctor Modificado M-01       | 58 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 29. Cuadro comparativo de resultado de Proctor Modificado de la muestra M-01 + dosificaciones de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% aceite residual | 63 |
| Tabla 30. Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 en estado natural                                                                      | 65 |
| Tabla 31. Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 1.5% de aceite residual                                                              | 66 |
| Tabla 32. Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 2.5 % de aceite residual                                                             | 68 |
| Tabla 33. Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 3.5% de aceite residual                                                              | 69 |
| Tabla 34. Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 4.5% de aceite residual                                                              | 71 |
| Tabla 35. Cuadro comparativo de resultado de CBR de la muestra M-01 + dosificaciones de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual             | 72 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Clasificación de autopista de primera clase                                                                        | 13 |
| Figura 2. Clasificación de carreteras por orografía                                                                          | 14 |
| Figura 3. Diagrama de tipos de clasificación                                                                                 | 14 |
| Figura 4. Carreteras de red vial nacional                                                                                    | 17 |
| Figura 5. Carta de plasticidad, método de clasificación SUCS                                                                 | 24 |
| Figura 6. Límites de Consistencia                                                                                            | 28 |
| Figura 7. Prueba de limite liquido                                                                                           | 28 |
| Figura 8. Prueba de limite plástico                                                                                          | 29 |
| Figura 9. Fórmula para obtener el índice de plasticidad                                                                      | 29 |
| Figura 10. Resultados de ensayo proctor                                                                                      | 33 |
| Figura 11. Expresión detallada al método de CBR                                                                              | 34 |
| Figura 12. Ubicación del Distrito de Puno en el mapa del Perú y Puno                                                         | 50 |
| Figura 13. Ubicación del Distrito de Platería en el mapa de Puno                                                             | 50 |
| Figura 14. Ubicación de la carretera platería Perka                                                                          | 50 |
| Figura 15. Inicio del tramo Km 0+000, Platería                                                                               | 51 |
| Figura 16. Fin de tramo Km 14+000, Perka                                                                                     | 51 |
| Figura 17. Ubicación de la cantera en situ M-01                                                                              | 52 |
| Figura 18. Acceso a la cantera lado derecho                                                                                  | 52 |
| Figura 19. Ensayos de la muestra M-01 en laboratorio                                                                         | 54 |
| Figura 20. Ensayo de la muestra M-01 en laboratorio                                                                          | 54 |
| Figura 21. Muestra M-01 mezclado con aceite residual                                                                         | 54 |
| Figura 22. Muestra M-01 compactado incorporando aceite residual                                                              | 55 |
| Figura 23. Curva de la granulometría de la muestra de la calicata M-01 en estado natural                                     | 56 |
| Figura 24. Diagramas de los resultados obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado con respecto a la Máxima Densidad Seca     | 58 |
| Figura 25. Curva en relación del contenido de aceite residual y Máxima Densidad Seca                                         | 59 |
| Figura 26. Diagramas de los resultados obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado con respecto a Optimo Contenido de Humedad | 59 |
| Figura 27. Curva en relación del contenido de aceite residual y Optimo Contenido de Humedad                                  | 60 |
| Figura 28. Diagrama relación optimo contenido de humedad – densidad máxima del suelo natural                                 | 61 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 29. Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 1.5% de aceite residual | 61 |
| Figura 30. Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 2.5% de aceite residual | 62 |
| Figura 31. Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 3.5% de aceite residual | 62 |
| Figura 32. Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 4.5% de aceite residual | 63 |
| Figura 33. Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 en estado natural                   | 65 |
| Figura 34. Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 en estado natural                                                       | 66 |
| Figura 35. Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 1.5% aceite residual              | 67 |
| Figura 36. Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01+1.5% aceite residual                                                    | 67 |
| Figura 37. Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 2.5% aceite residual              | 68 |
| Figura 38. Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01+2.5% aceite residual                                                    | 69 |
| Figura 39. Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 3.5% aceite residual              | 70 |
| Figura 40. Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 + 3.5% aceite residual                                                  | 70 |
| Figura 41. Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 4.5% aceite residual              | 71 |
| Figura 42. Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 + 4.5% aceite residual                                                  | 72 |
| Figura 43. Diagrama resultados del ensayo de CBR al 95%                                                                      | 73 |
| Figura 44. Diagrama resultados del ensayo de CBR al 100%                                                                     | 73 |
| Figura 45. Curva en relación del contenido de aceite residual entre CBR                                                      | 74 |

## Resumen

La contaminación con aceite residual impacta negativamente en los suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de maquinaria vehicular y plantas de procesamiento de áridos; pero su utilización en la estabilización de suelos es aplicable. En la Región Puno concretamente referido a la ciudad de Puno cada lubricentro o taller de mantenimiento y reparación de vehículos genera en promedio de 10 a 20 litros diarios de aceite quemado, lo que multiplicado por la cantidad de estos talleres generan grandes cantidades de aceite.

El presente trabajo de investigación titulado “Mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021”, tiene como objetivo general: Determinar cómo influye el aceite residual en las propiedades de la sub rasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021, y la hipótesis general que debe verificarse es: “El aceite residual influye en las propiedades de la sub rasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021”. Así mismo para la evaluación de las propiedades de la subrasante se tomaron en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio, ensayo de límites de atterberg, ensayo de granulometría, ensayo de proctor modificado y ensayo de CBR.

Esta investigación tuvo la siguiente metodología: El diseño de investigación fue experimental de carácter cuasiexperimental, el tipo de investigación se basó en un nivel explicativo y el enfoque cuantitativo. para el cual se ha mezclado muestras de suelo con aceite residual, en las proporciones de 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% en peso seco y someterlos a ensayos de laboratorio.

Por tanto, existe una relación inversa alta entre el contenido de aceite y los factores mecánicos del suelo, lo que significa que a mayor contenido de aceite residual se reducen las características mecánicas del suelo, considerándose adecuado su utilización en un rango del 1.5 al 3.5% para estabilizaciones de subrasantes.

**Palabras clave:** aceite-residual, compactación, CBR, granulometría, límites de consistencia, suelo.

## Abstract

Contamination with residual oil has a negative impact on the soils where vehicle machinery maintenance workshops and aggregate processing plants are located; but its use in soil stabilization is applicable. In the Puno Region, specifically referred to the city of Puno, each vehicle maintenance and repair center or workshop generates an average of 10 to 20 liters of burned oil per day, which multiplied by the number of these workshops generate large amounts of oil.

The present research work entitled "Improvement of the subgrade incorporating residual oil from motorized vehicles on the Platería Perka highway, Puno 2021", has the general objective: To determine how residual oil influences the properties of the subgrade on the Platería highway Perka, Puno 2021, and the general hypothesis that must be verified is: "The residual oil influences the properties of the subgrade on the Platería Perka road, Puno 2021". Likewise, for the evaluation of the properties of the subgrade, the following laboratory tests were taken into account, atterberg limits test, granulometry test, modified proctor test and CBR test.

This research had the following methodology: The research design was experimental of a quasi-experimental nature, the type of research was based on an explanatory level and a quantitative approach. for which soil samples have been mixed with residual oil, in the proportions of 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5% and 4.5% in dry weight and subject them to laboratory tests.

Therefore, there is a high inverse relationship between the oil content and the mechanical factors of the soil, which means that a higher content of residual oil reduces the mechanical characteristics of the soil, considering its use in a range of 1.5 to 3.5% adequate. for subgrade stabilization.

**Key words:** oil-residual, compaction, CBR, granulometry, consistency limits, soil.

## I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actualmente viene presentado diferentes problemas en el área de Ingeniería, principalmente problemas ambientales debido al aumento del parque automotor en las ciudades, generando la contaminación del medio ambiente con los hidrocarburos y sus derivados tales como azufre, nitrógeno, u oxígeno y bajas concentraciones de constituyentes metálicas, así como sus residuos contaminan grandes áreas de terreno fértil sin que haya ningún tratamiento o mitigación al respecto.

La población mundial va incrementando considerablemente, según fuentes de las Naciones Unidas la población al año 2015 es de 7300 millones y se proyecta un crecimiento al año 2030 de 8500 millones de habitantes, es efecto ante el incremento poblacional hablar de proyectos de infraestructura vial a nivel internacional es de mucha importancia ya que contribuye a que los países alcancen ventajas competitivas y mayor grado de desarrollo social económico, textualmente se podría decir tener una buena infraestructura vial es sinónimo de desarrollo.

El aceite residual, tiene el poder contaminante en el agua, produciendo una película impermeable que puede asfixiar a los seres vivos que allí habitan. Un litro de aceite usado puede contaminar un millón de litros de agua. En el aire viene afectando si el aceite usado se quema origina importantes problemas de contaminación y emite gases muy tóxicos, debido a la presencia en este aceite de compuestos de plomo, cloro, fósforo, azufre, etc. Y en la tierra el vertido del aceite usado puede perjudicar tanto el suelo como las aguas superficiales y subterráneas, afectando gravemente a la fertilidad del suelo, al alterar su actividad biológica y química. Además, se conoce como contaminante por la presencia de sustancias tóxicas y metales pesados, por su baja biodegradabilidad, por su capacidad de acumulación e infiltración en los seres vivos, la tierra y el agua, por la emisión de gases tóxicos si se quema y por la persistencia en tiempo de sus componentes nocivos. (Sigaus, 2020)

El aceite residual de motores son un material altamente contaminante, que requiere una gestión responsable; éstos pueden causar daños al medio ambiente cuando se vierten en el suelo o en las corrientes de agua incluyendo alcantarillas. Esto puede

resultar en la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo. El aceite lubricante usado contiene diversos compuestos químicos tales como metales pesados, (por ejemplo, cromo, cadmio, arsénico, plomo, entre otros), hidrocarburos aromáticos polinucleares, benceno y algunas veces solventes clorados, PCBs, etc. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de estos productos son cancerígenos (Quiñonez, 2017).

Respecto a los problemas geotécnicos, en el Perú ya se elaboraron responsabilidades de investigación que valdrán como antecedentes para el presente trabajo, los cuales tuvieron como finalidad la determinación del comportamiento de los materiales reutilizables como el aceite residual, para la estabilidad de la subrasante los cuales tuvieron consecuencias muy eficientes en cuanto la ventaja de las posesiones físicas y mecánicas de la subrasante y a la vez redujeron considerablemente los límites de consistencia, aumentando así la capacidad portante y estabilidad del suelo.

El Perú tiene una gran diversidad de suelos por eso es muy común encontrar problemas al momento de ejecutar obras de infraestructura vial, esto debido a que los suelos de fundación son defectuosos y no presentan garantía de resistencia frente a las cargas que transmiten los vehículos, estos en la mayoría de los casos generan complicaciones por sus características expansivas las cuales están expuestas a la transigencia de hundimiento, a consecuencia de las cargas que son sometidas y transmitidas por los vehículos.

En la región de Puno, geotécnicamente presenta suelos de fundación que poseen muy baja resistencia debido al alto índice de plasticidad de las que están compuestas los suelos, así mismo, por la ubicación geográfica en la que se encuentra muchos de estos suelos por lo general presentan baja resistencia por lo que no pueden ser empleados como material para uso como sub rasante de pavimentos, por ende, no llegan a respetar los requisitos mínimos establecidos en el manual de carretas del MTC, por lo que es importante establecer criterios de estabilización de los suelos arcillosos para el mejoramiento de sus propiedades físicas mecánicas para ser usada como sub rasante.

Por otro lado, las vías sin pavimentar (a nivel de afirmado), afectan directamente a las familias que viven en la zona intervenida, aumentando los índices de contaminación ambiental, dañando al patrimonio público y privado, así mismo dificultan el desplazamiento normal de los peatones y vehículos a consecuencia de las precipitaciones pluviales produciéndose charcos, barro, en épocas de avenida y polvareda en época de estiaje que incomodan al habitante.

Particularmente en las zonas rurales existen carreteras no pavimentadas compuestas por suelo de mala calidad, actualmente las condiciones de las carreteras son totalmente inadecuadas para el transporte terrestre de vehículos, debido a que la adherencia es menor en el suelo suelto, consecuentemente el levantamiento de polvo es desagradable, se disminuye la visibilidad, el agua afecta a la resistencia de la base, por lo que se aumenta el desgaste de los motores y neumáticos. El estado situacional de la carretera no pavimentada está sometida a un ciclo de conservación insuficiente o inexistente, degradación, destrucción, reconstrucción y así sucesivamente.

En la ciudad de Puno los talleres y lubricentros también denominado car wash, genera aproximadamente un promedio de 10 a 20 litros diarios de aceite residual, lo cual viene generando grandes cantidades de aceite residual.

Por todo ello en la actual investigación se ha planteado como **problema general** lo siguiente: ¿Cómo influye la incorporación de aceite residual en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021?

**Problemas específicos:** ¿Cómo influye el aceite residual en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021? ¿Cómo influye el aceite residual en el contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021? ¿Cómo influye el aceite residual en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021?

**Justificación de la investigación:**

**Justificación teórica** A través de esta exploración se busca ampliar nuestros conocimientos acerca del comportamiento físico y mecánico que tiene la subrasante con la incorporación del aceite residual de vehículos motorizados,

aplicaremos los conceptos de estabilización de suelos con un material o residuo que actualmente posee importantes propiedades que beneficiarían el aspecto técnico económico en la elaboración de los planes de infraestructura vial, manifestándolo a través de nuestros indicadores como son: Índice de plasticidad, máxima densidad seca, inmejorable implícito de humedad, CBR, etc.

**Justificación metodológica** Es necesario seguir los procedimientos y estándares metodológicos para aplicarlos a la Ingeniería con finalidad de realizar una investigación científica y técnica. El soporte fundamental metodológico radica en el diseño de investigación puesto que la experiencia en campo tendrá un papel preponderante.

**Justificación técnica** La investigación a realizar busca emplear el aceite residual de vehículos motorizados en la subrasante a evaluar con la finalidad mejorar su compactación y resistencia, aplicando los conceptos técnicos del Manual de Carreteras de suelos, geología y asfaltos respecto al mejoramiento de la base empleando estabilización de tierras con productos químicos.

**Justificación social** Es importante que la infraestructura vial se encuentre en óptimo estado y su tiempo de vida útil sea el previsto, para esto se requiere que los proyectos sean amigables, de calidad, técnicamente viables y económicamente viables. La sociedad requiere que las vías se encuentren en buen estado para favorecer la fluidez del tránsito y que las actividades de comercialización, turismo, educación, trabajo, etc. no tengan retrasos en la movilidad.

#### **Hipótesis:**

**Hipótesis general:** El aceite residual influye en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.

**Hipótesis específicas:** El aceite residual influye en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. El aceite residual influye en el contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. El aceite residual influye en CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.

## **Objetivos:**

**Objetivo general:** Determinar cómo influye el aceite residual en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.

**Objetivos específicos:** Determinar la influencia del aceite residual en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. Determinar la influencia del aceite residual en contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. Determinar la influencia del aceite residual en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Para llevar adelante esta investigación se tuvo en cuenta una variedad de trabajos investigativos, que se llevaron a cabo años antes del presente, por lo que en el ámbito internacional tenemos los siguientes:

Patín (2018), en su tesis titulada ***“Reciclado de aceite quemado de vehículo en la estabilización de suelos arenosos”*** para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Chimborazo tuvo como **objetivo** determinar el porcentaje óptimo requerido del aceite quemado para la estabilización del suelo arenoso. La **metodología** utilizada es tipo experimental por los ensayos realizados en laboratorio incorporando el aceite quemado en suelos arenosos y el enfoque es cuantitativo debido a que los resultados son representados numéricamente. Se obtuvo como **resultados** que según la clasificación SUCS el suelo que se usó en la investigación fue clasificado como un suelo tipo SM (arenas limosas, mezclas de arena y limo), presentó una máxima densidad seca de 1,528.25kg/m<sup>3</sup>, contenido de humedad óptima 7.88%, y el valor de CBR al 95% fue del 13.35%. Se empleó el aceite quemado y tras su incorporación en un porcentaje de 5% y se obtuvo los siguientes resultados.

La incorporación del 5% del aceite usado aumenta su valor de CBR de 13.35% a 20.18% y la máxima densidad seca de 1,528.25kg/m<sup>2</sup> hasta 1,745.00kg/m<sup>3</sup>. Se **concluyó**, de la investigación se pudo obtener como porcentaje adecuado y óptimo

para la estabilización y mejorar sus propiedades de suelo arena limosa es de 5% de aceite quemado de vehículos.

Moncayo (2018), en su tesis titulada ***“Estudio del efecto del aceite de motor usado, en la resistencia a corte y CBR de los suelos finos MH en la ciudad de Cali”*** para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad del Valle tuvo como **objetivo** analizar el actuar mecánico del MH, sometido a la acción del aceite de motor usado. La **metodología** utilizada es tipo experimental donde se determina la incidencia del AMU en un suelo fino, realizando los ensayos en laboratorio. Se obtuvo como **resultados** según la clasificación SUCS el suelo que se usó en la investigación es un suelo tipo MH (limo de alta plasticidad), presentó una máxima densidad seca de 1.51g/m<sup>3</sup>, contenido de humedad optima 25%, y el valor de CBR de 4.7%. Se empleó el aceite de motor usado y tras su incorporación en diferentes porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16%, se obtuvo los siguientes resultados.

La incorporación del 4% del aceite usado disminuye su CBR de 4.70% a 3%.

La incorporación del 8% del aceite usado disminuye su CBR de 4.70% a 3.45%.

La incorporación del 12% del aceite usado disminuye su CBR de 4.70% a 3.95%.

La incorporación del 16% del aceite usado aumentó su CBR de 4.70% a 7.10%. Se **concluyó**, de la investigación por medio de CBR con la adición de aceite de motor usado disminuye para el 4%, luego aumenta linealmente hasta 12%, finalmente crece exponencialmente del 12% a 16%, pero si se desea implementar en construcción, no sería recomendable, por lo que se recomienda evaluar la incidencia del aceite de motor en otro tipo de suelos, ya que en esta investigación su mejoría optima trabaja con altas dosificaciones de aceite de motor usado.

Como **antecedentes nacionales** tenemos a Santa Cruz (2018) en su tesis titulada ***“Efectos del aceite quemado en las propiedades mecánicas del suelo cohesivo, Satipo, Junín”*** para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana Los Andes tuvo como **objetivo** determinar los efectos que presentan el aceite quemado de motor en las características físicas y mecánicas de un suelo cohesivo para la sub rasante de la trocha carrozable Pitucana, Satipo, Junín 2018. La **metodología** utilizada es tipo experimental porque el investigador

tiene el manejo de las variables y realiza su comprobación mediante los ensayos en laboratorio. Se obtuvo como **resultados**, de la investigación realizada en la trocha carrozable Pitucana de acuerdo a la clasificación presenta un suelo tipo CL (arcilla inorgánica de baja y media plasticidad) de acuerdo al SUCS y AASHTO es A-4(6), presentó la máxima densidad seca es 1.89gr/cc, contenido de humedad óptimo de 12.25% y un valor de CBR de 10.00% y según las categorías de subrasante del manual de carreteras considera un suelo regular (CE 010). Se empleó el aceite quemado y tras su incorporación en diferentes porcentajes de 5%, 10% y 15% se obtuvo los siguientes resultados.

La incorporación de aceite quemado en porcentajes 5%,10%,15% mejoraron la densidad y el CBR del suelo, en síntesis, a los resultados determinamos el porcentaje del 10% siendo el más adecuado que alcanzó el mayor porcentaje de mejoramiento de la densidad y CBR, mejorando las propiedades mecánicas y físicas del suelo cohesivo; con el ensayo proctor modificado determinamos que la densidad subió en 0.27gr/cc, con el ensayo de CBR determinamos mejorando al suelo en 6% de resistencia y obteniendo como resultado un suelo bueno según el manual de carreteras del MTC, por consiguiente la hipótesis menciona: La dosificación adecuada para la incorporación de aceite quemado en la subrasante de la trocha carrozable Pitucana, es al 5% y 10%. al cual según los resultados aceptamos utilizar al 10% obteniendo el más óptimo para el mejoramiento de suelo cohesivo. Se **concluyó**, para la utilización de material de afirmado en la subrasante dosificar al 10% de aceite quemado siendo el más óptimo para mejorar sus propiedades del suelo como la resistencia y densificación del suelo.

Huaquisto (2015) en su tesis titulada ***“Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en las propiedades físico mecánicas del suelo”*** para optar el grado académico de Doctor en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente en la Universidad Nacional del Altiplano tuvo tal **objetivo** determinar los efectos que se presenta el aceite residual en las propiedades físico mecánicas del suelo. La **metodología** utilizada es tipo experimental porque el investigador tiene el manejo de las variables y realiza su comprobación mediante los ensayos en laboratorio. Se obtuvo como **resultados** que el suelo evaluado en la ciudad de “Patallani, Puno” se clasifica un suelo tipo (CL) arcilla de baja plasticidad según SUCS, se presentó como la

densidad seca es 1.96g/cm<sup>3</sup>, contenido óptimo de 10.6%. y la resistencia a compresión simple de 5.23kg/cm<sup>2</sup>. Se empleó el aceite residual y tras su incorporación en diferentes porcentajes de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% se obtuvieron los siguientes resultados.

La incorporación del 2% de aceite residual aumento su resistencia de compresión simple de 5.23 a 7.27kg/cm<sup>2</sup> y MDS de 1.96 a 2.02g/cm<sup>3</sup>; y disminuyo su OCH de 10.60 a 8.10%.

La incorporación del 4% de aceite residual aumento su resistencia de compresión simple de 5.23 a 7.61kg/cm<sup>2</sup> y MDS de 1.96 a 1.97g/cm<sup>3</sup>; y disminuyo su OCH de 10.60 a 7.80%.

La incorporación del 6% de aceite residual disminuyen su resistencia de compresión simple de 5.23 a 3.19kg/cm<sup>2</sup>, MDS de 1.96 a 1.91g/cm<sup>3</sup> y su OCH de 10.60 a 7.50%.

La incorporación del 8% de aceite residual disminuyen su resistencia de compresión simple de 5.23 a 2.35kg/cm<sup>2</sup>, MDS de 1.96 a 1.87g/cm<sup>3</sup> y su OCH de 10.60 a 6.50%.

La incorporación del 10% de aceite residual disminuyen su resistencia de compresión simple de 5.23 a 1.78kg/cm<sup>2</sup>, MDS de 1.96 a 1.77g/cm<sup>3</sup> y su OCH de 10.60 a 5.80%. Se **concluyó**, para la utilización en las carreteras o terraplenes dosificar del 2 al 4% de aceite residual, siendo el más óptimo para mejorar sus propiedades del suelo.

Guevara (2017) en su tesis titulada ***“Estabilización de suelos con adición de residuos compatibles para la construcción de vías de la ciudad de Juliaca”*** para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez tuvo como **objetivo** mejorar las características geotécnicas de los suelos de las canteras, con la incorporación de desechos y demoliciones provenientes de la construcción, para su empleo en la construcción de carreteras de la ciudad de Juliaca. La **metodología** es aplicada, tiene un enfoque cuantitativo, experimental y su nivel explicativo. Se obtuvo como **resultados** que la cantera Los Monos del Distrito de Juliaca se clasifica como un suelo tipo SM (arena limosa) según SUCS, presentó la siguiente consistencia de un LL de 27.27%, LP de 16.34%, IP de 10.93%, máxima densidad seca es 1.87gr/cm<sup>3</sup>, contenido de

humedad optimo es 8.36%, y un CBR de 35.00%. Se empleó el aceite usado de vehículos y tras su incorporación en diferentes porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, y 2.5% se obtuvo los siguientes resultados.

Con la incorporación de aceite usado de vehículos motorizados se ha mejorado el indice de plasticidad en un 8%, se disminuyó de 10.93% a 7.29%; y en la compactación tiene una mejora de 1.87gr/cm<sup>3</sup> a 2.19gr/cm<sup>3</sup>, finalmente el CBR al 95% tiene una mejora de 35% a 39% con adición de 2.0% de aceite usado de vehículos.

Se **concluyó** que es recomendable estabilizar el suelo de la cantera los monos, usando aceite usado de vehículos en una proporción de 2%, siendo más óptimo para la estabilización de los suelos.

Auccapure (2019) in his thesis entitled "**Waterproofing the base of rigid pavements with burnt oil from motor vehicles, using material from the yanaoca quarry, Canas Province - Cusco**" to obtain the professional degree of Civil Engineer at the University Nacional de San Antonio Abad del Cusco's **objective** was to determine the permeability coefficient "k" of the granular material from the Yanaoca quarry mixed with the burned oil for the conformation of the base of the rigid pavement structure. The **results** were that according to the SUCS classification the soil to be studied is of the GM-GC type (silty gravel with clays) and A-1-a (0) according to AASHTO, it presented the following consistency of a liquid limit of 26.4%, limit plastic of 19.76% and plasticity index of 6.28%, and a CBR of 26.6%, it also presented an optimal moisture content of 5.8% and maximum dry density of 2.28g / cm<sup>3</sup>. The residual oil was used and after its incorporation in different percentages of 1%, 2%, 3% and 6%, the following results were obtained.

For granular material from the Yanaoca quarry, mixed with burned oil, the optimal dosage of burned oil is 2%, because

Once the CBR tests were carried out for the granular material from the Yanaoca quarry and for the same granular material mixed with burned oil, CBR values of 32.7% and 45.8% respectively have been obtained, resulting in that for the granular material mixed with burned oil has increased its CBR by 13.1%.

It was concluded that it is advisable to use 2% of burnt oil for the granulated material belonging to a soil with double GM-GC symbology (silty gravel with clays).

Arteaga (2016) in his thesis entitled: "**Use of recycled oil from diesel engines to improve the CBR and the plastic index of the affirmed used in the construction of the Nuevo Chimbote road, Province of Santa, Region of Ancash**", to choose the title Professional Civil Engineer at Cesar Vallejo University aimed to establish the percentage of recycled oil from diesel engines, to improve the CBR and the plastic index of the affirmed used in the construction of road in the District of Nuevo Chimbote, Province of Santa, Region from Ancash. The results were that according to the SUCS classification, the soil to be studied is of the SP-SM type (poorly graded sand with silt and gravel), it presented the following consistency of a liquid limit of 20.66%, plastic limit of 13.79% and plasticity index of 6.87%, and a CBR of 42.46%, also presented an OCH of 6.60% and MDS of 2.24g / cm<sup>3</sup>, the recycled oil was used and after its incorporation in different percentages of 1%, 2% and 3%, the following results.

The incorporation of 1% of the burned oil increased its CBR from 42.46% to 44.65%.

The incorporation of 2% of the burned oil increased its CBR from 42.46% to 75.48%.

Incorporating 3% of the burned oil lowers its CBR from 42.46% to 40.22%. It was concluded that it is advisable to use 2% of burned oil in a SP-SM soil (poorly graded sand with silt and gravel) since it increases its CBR.

Además, para el presente estudio se tomará como referencia los siguientes **artículos científicos**:

Villena (2001), en su artículo científico titulado "**Efecto de la contaminación del aceite (usado) de motor en las propiedades geotécnicas de las arcillas de la zona urbana del Municipio de Tarija-Bolivia y su impacto en la construcción**", tiene como **objetivo** determinar y analizar los efectos en las propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso contaminadas artificialmente con aceite de motor usado, la **metodología** es tipo aplicada y diseño experimental, debido a que se realizó pruebas estándares de laboratorio. Se obtuvo como **resultado**, la muestra es clasificada como CL (arcillas de baja plasticidad), la máxima densidad seca es

17.06kN/m<sup>3</sup> y la humedad óptima es 13.81%, y se adiciono el aceite usado gradualmente en diferentes proporciones como: 5%, 10% y 15%, se destaca los siguientes resultados.

La incorporación del aceite usado en el proceso de compactación disminuye su humedad óptima del suelo, disminuyendo en un 9.27% para 5%, 7% para 10% y 4.61% para 15% de aceite usado.

La máxima densidad disminuye un 1.58% para 5% de aceite usado respecto a la muestra patrón, para 10% y 15% aumenta en 1.17% y 5.69% respectivamente. Se **concluyó** que en los ensayos de compactación se disminuye la humedad óptima del suelo en relación con el adición del aceite de motor en el suelo y también se ve las mejoras aumentando su valor de la máxima densidad seca.

Del Castillo (2020), en su artículo científico titulado ***“Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante”***, tiene como **objeto** evaluar el comportamiento geotécnico de la subrasante adicionado con AMU, la **metodología** es de tipo aplicada, diseño experimental y nivel de investigación exploratoria mediante los ensayos geotécnicos realizados en suelo con aceites. Se obtuvo como **resultado** en las muestras de suelos cohesivos o arcillas la estudiada es clasificada como MH (limo de alta plasticidad) según SUCS, la máxima densidad seca es 4.4kg/cm<sup>3</sup> y la humedad óptima es 25%. Se adiciono el aceite de motor usado en las siguientes proporciones: 4%, 8%, 12% y 16%, se destaca los siguientes resultados.

La incorporación del aceite usado en el proceso de compactación se ve el decremento de la humedad óptima del suelo es significativo para 4% se reduce un 8%, para el 8% de un 31.20%, para 12% un 44.40% y finalmente para 16% de aceite de motor usado reduce un 60%.

La máxima densidad tiende aumentar al incrementar el aceite de motor usado de 4%, 4.5%, 5.7% y 7% con respecto a la muestra patrón para 4%, 8%, 12% y 16% respectivamente. Se **concluyó** que en las pruebas de compactación incorporando el aceite de motor usado se tuvo un aumento ligero en densidad seca hasta 7% y se tiene una disminución en la humedad óptima hasta un 60%. Esto se atribuye a

que el AMU reemplaza la cantidad de agua optima necesaria para adicionar en el suelo.

Enseguida se presenta las **bases teóricas** más relevantes relacionada a las variables del estudio que contribuyen al mejor entendimiento y/o explicación del presente tema materia de investigación:

### **Carreteras**

La carretera es una vía de comunicación de uso público, proyectada y construida para la movilización del transporte terrestre. Existen diferentes tipos de carreteras según sus clasificaciones, no obstante, coloquialmente se usa el termino de carretera para precisar la carretera convencional que pueda estar conectada, mediante los accesos (Gutiérrez, 2010).

Una carretera es de mucha importancia para el desarrollo de un país ya que une las zonas rurales y urbanos generando de esta manera un crecimiento socio-económico.

### **Clasificación de carreteras**

#### **Clasificación de carreteras según su función**

##### **Red primaria**

En el Perú se define como sistema nacional, que une las principales ciudades con puertos marítimos, aeropuertos y fronteras.

##### **Red secundaria**

En el Perú se define como sistema departamental, corresponde a la red circunscrita a la zona de un departamento.

##### **Red terciaria o local**

En el Perú se define como sistema vecinal, carreteras que unen capitales de provincia, distritos y centros poblados, se encuentran a cargo del gobierno regional para su conservación y mantenimiento. (MTC; diseño geométrico, 2014)

## Clasificación por demanda.



Figura 01: Clasificación de autopista de primera clase.

### **Autopistas de primera clase.**

Son carreteras de calzadas separadas de dos o más carriles por sentido flujo continuo de control total de accesos, con IMDA > 6000 veh/día y debe ser pavimentada.

### **Autopistas de segunda clase.**

Son vías de calzadas separadas, con IMDA de 6000 al 4001 veh/día, debe ser pavimentada.

### **Carreteras de primera clase.**

Son vías de una calzada separada con IMDA de 4000 al 2001 veh/día, debe ser pavimentada.

### **Carreteras de segunda clase.**

Son vías de una calzada de dos carriles soportan del 2000 – 400 veh/día, debe ser pavimentada.

### **Carreteras de tercera clase.**

Son carreteras de una calzada que soportan menos de 400 veh/día, pueden ser vías aplicados con estabilizadores en afirmados o en la superficie de rodadura.

### **Trochas Carrozables.**

Son vías de categoría más baja, transitables para vehículos automotores. Están contruidos con un mínimo de movimiento de tierras, afirmadas o sin afirmar a nivel de subrasante, soportan menos de 200 veh/día.

## Clasificación por orografía.

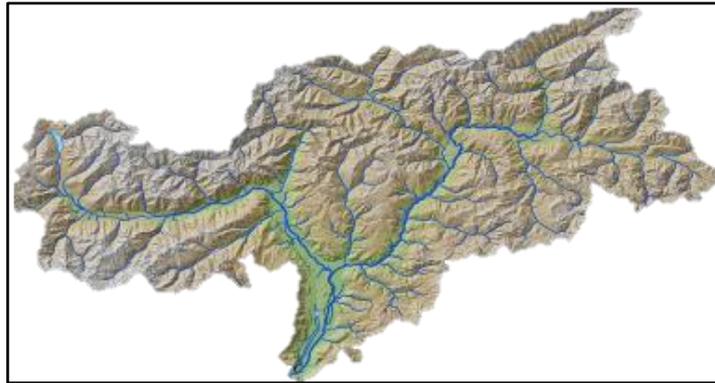


Figura 02: Clasificación de carreteras por orografía.

### Terreno plano (tipo 1).

La inclinación transversal normal al eje de vía menor al 10% y pendiente longitudinal de 3%. (MTC; DG-2018)

### Terreno ondulado (tipo 2).

La inclinación transversal normal al eje de vía es de 10% a 50%, pendiente longitudinal de 3% a 6%. (MTC; DG-2018)

### Terreno accidentado (tipo 3).

La inclinación transversal normal al eje de vía es de 50% a 100%, pendiente longitudinal de 6% al 8%.

### Terreno escarpado (tipo 4).

La inclinación transversal normal al eje de vía es mayor al 100%, pendiente longitudinal son superiores al 8%.



Figura 03: Diagrama de tipos de clasificación.

## **Clasificación según el tipo de superficie de rodadura.**

### **Vías pavimentadas.**

Son estructuras viables que se encuentran integrado por diversas capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que son diseñadas para tolerar el tránsito y cambios de ambiente. Asimismo, se diseñan prudentemente solo con el fin de consagrar un tránsito favorable, certero y placentero al transporte que se imponga sobre el territorio en definida fase de tiempo ya que las cargas de transporte que circulan sobre esta estructura generan en la interfaz de la cubierta esfuerzos frecuentes y alteraciones perpendiculares, decúbito y de corte. (Rondón, Reyes, 2015)

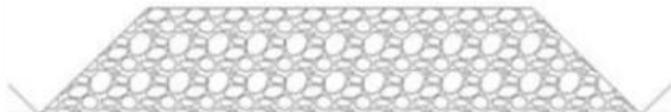
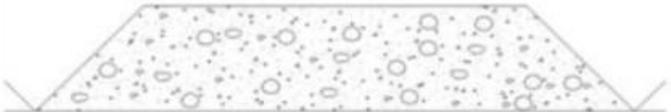
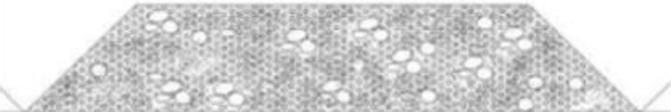
Son carreteras de superficie, conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto (rígido), en la superficie de rodadura

### **Vías no pavimentadas.**

Son carreteras de superficie, conformada por grava o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural. En general corresponden de bajo volumen de tránsito.

Son aquellas vías que tienen una capa delgada de asfalto o estabilizadas mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. (Gutiérrez, 2010)

**Tabla 1:** Caminos con superficie de rodadura No Pavimentada

| <b>Caminos con Superficie de rodadura No Pavimentada</b>                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de Camino</b>                                                                                                                                  | <b>Características</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>Caminos de Tierra</p>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suelo natural</li> <li>- Mejorado con grava seleccionada por zarandeo</li> </ul>                                                                                                                                                                                            |
| <p>Caminos de grava (lastrados)</p>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material natural pétreo</li> <li>- Seleccionado manualmente o por zarandeo</li> <li>- Tamaño máximo 3"</li> </ul>                                                                                                                                                           |
| <p>Caminos afirmados</p>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material de cantera</li> <li>- Combinación de piedra, arena y finos o arcilla</li> <li>- Tamaño máximo 1"</li> </ul> <p><b>Tipo:</b> Afirmado con gravas naturales o zarandeadas, y afirmados con homogenizadas mediante chancado.</p>                                      |
| <p>Caminos afirmados estabilizados con materiales industriales</p>  | <p><b>Tipos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afirmados con grava tratada con materiales como asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.</li> <li>- Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos, entre otros.</li> </ul> |

*Fuente:* GTT (Grupo Técnico de Trabajo); MTC - Oficina de Estadística, julio del 2019.

### **Afirmado**

Se define como una carretera no pavimentada, la superficie de rodadura esta conformada por una o mas capas de afirmado.

### **Sistema vial peruano**

La red vial nacional tiene una longitud por más de 172,000 km. de carreteras, constituida en 03 grupos como: Longitudinales, de penetración y de enlace. Su mantenimiento y ampliación están a cargo de PROVIAS, organismo descentralizado del MTC.

**Tabla 2:** Longitud de Infraestructura Vial, según jerarquía y superficie de rodadura, 2019 (kilómetros)

| Superficie de Rodadura       | Sistema Nacional de Carreteras |                  |                   | Total             |               |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                              | Nacional                       | Departamental    | Vecinal           |                   |               |
| <b>1. Red Vial Existente</b> | <b>27,060.90</b>               | <b>27,505.60</b> | <b>113,792.80</b> | <b>168,359.20</b> | <b>96.2%</b>  |
| Pavimentada                  | 21,649.00                      | 3,623.10         | 1,906.20          | 27,178.30         | 16%           |
| No Pavimentada               | 5,411.90                       | 23,882.50        | 111,886.60        | 141,180.90        | 81%           |
| <b>2. Proyectada</b>         | <b>1,805.50</b>                | <b>4,693.40</b>  | <b>140.40</b>     | <b>6,639.32</b>   | <b>3.8%</b>   |
| <b>Total</b>                 | <b>28,866.40</b>               | <b>32,199.00</b> | <b>113,933.20</b> | <b>174,998.52</b> | <b>100.0%</b> |

Fuente: GTT (Grupo Técnico de Trabajo); MTC - Oficina de Estadística, julio del 2019.

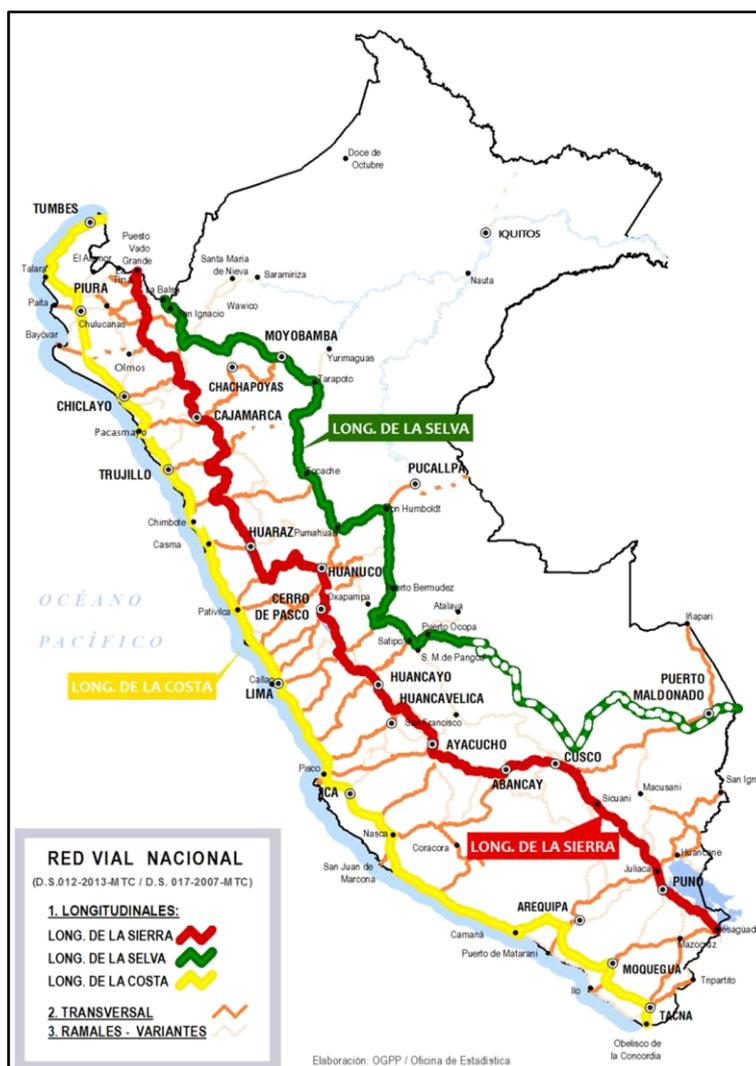


Figura 04: Carreteras de red vial nacional.

### **Características climáticas en la zona de estudio**

Para la caracterización climática de la carretera Platería Perka, se ha tomado referencia según SENAMHI.

En ese sentido en el km 0+000 al km 14+000, presenta un comportamiento entre templada frío, la media anual de la temperatura oscila entre 7.2°C a 9.1°C y un promedio de 8.1°C. la temperatura mínima absoluta en los últimos años es 2.3°C. la temperatura máxima absoluta 15.2°C. Así mismo, la zona es poco lluviosa, la precipitación acumulada promedio anual es de 481mm, presentando en su condición seca precipitaciones de 399mm y en su condición húmeda hasta 558mm, siendo los meses de mayo a agosto, los meses de menor intensidad de precipitación.

### **Subrasante**

La sub rasante es la capa de terreno de una carretera a nivel de movimiento de tierra (corte o relleno), en la que soporta o se cimienta la estructura de una carretera como los pavimentos o afirmados (MTC; Glosario de infraestructura vial, 2018).

La sub rasante se define como el soporte natural, preparado y compactado, la cual viene a ser la parte superior de terraplén, en la cual se puede construir un pavimento. La sub rasante cumple una función dar un apoyo razonablemente uniforme, sin generar cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. (AASHTO, 1993 pág. 4)

La subrasante es el perímetro de las terracerías concluidas de la autopista y la rasante, es la línea del área de rodamiento, en general es semejante a la subrasante y queda sobre ella. Por lo que, se encuentra desarrollada por una secuencia de líneas razonables con sus correspondientes aplazadas, reunidas de una pendiente a otra por curvas verticales lindantes a ellas. En definitiva, para planear la subrasante se forma sobre el perfil del trazo terminante, administrando compensar los hoyos y los rellenos, pero sin exceder las pendientes señaladas para el camino que se proyecta. (Márquez, 2005)

Para llegar a un estado óptimo requiere que una capa se encuentre compactada y este conformada por suelos que presentan características aceptables. (García, 2017)

**Tabla 3:** Clasificación de subrasante

| <b>Categoría de subrasante</b> | <b>CBR %</b> |
|--------------------------------|--------------|
| S0: Subrasante muy pobre       | < 3%         |
| S1: Subrasante pobre           | 3% - 5%      |
| S2: Subrasante regular         | 6 - 10%      |
| S3: Subrasante buena           | 11 - 19%     |
| S4: Subrasante muy buena       | > 20%        |

*Fuente:* Manual de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC, 2008).

**Tabla 4:** Categorías de subrasante

| <b>Categoría de subrasante</b> | <b>CBR %</b> |
|--------------------------------|--------------|
| S0: Subrasante inadecuada      | < 3%         |
| S1: Subrasante insuficiente    | ≥3% a <6%    |
| S2: Subrasante regular         | ≥6% a <10%   |
| S3: Subrasante buena           | ≥10% a <20%  |
| S4: Subrasante muy buena       | ≥20% a <30%  |
| S5: Subrasante excelente       | ≥ 30%        |

*Fuente:* Manual de carreteras; sección suelos y pavimentos (MTC, 2014).

Los suelos para la sub rasante considerados como aptos serán los suelos presenten un CBR ≥ a 6%, de obtener los resultados menores se procederá a su eliminación de dicho material y a su posterior reemplazo, o a su estabilización. (Ravines Merino, 2010).

**Tabla 5:** Sub rasante según el tipo de suelo

| SUBRASANTE |                                           |                                     |                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ESTRATOS   | TIPO DE SUELO                             | CBR                                 | SOLUCIÓN                                                                        |
|            | *Suelos adecuados                         | CBR >= 6%<br>(espesor mínimo 0.60m) |                                                                                 |
|            | *Subrasante pobre o Subrasante inadecuada | CBR < 6%<br>(espesor mínimo 0.60m)  | *Estabilización de suelos.<br>*Mejoramiento de suelos.<br>*Reemplazo del suelo. |

**Fuente:** Adaptación del manual de carreteras; sección suelos y pavimentos (MTC, 2014).

### Las propiedades físicas mecánicas del suelo

Se define que las propiedades físicas que tienen más relevancia son la granulometría, límite Atterberg, límite de densidad, límite de humedad. Con respecto a la rigidez tenemos en cuenta al tipo de elasticidad y CBR; y las cualidades hidráulicas que son de suma importancia ya que nos permitirán evaluar la permeabilidad, el coeficiente de drenaje y expansión. (Menéndez, 2013)

Thompson y Troeh (2002) todo piso manifiesta un grupo particular de propiedades físicas que necesitan de la esencia de sus ingredientes, son valoradas por indagación óptico o percepción, se calculan comparando con algún prototipo de grado (dimensión, resistencia, magnitud).

De la misma manera, se integran los tres estados de la materia heterogéneos, las cuantías referentes de estos materiales actuales requieren suficiente del volumen de la atadura entre los átomos consistentes. En conclusión, los adicionales de partículas diminutas suelen ser muy diferentes de los que componen de partículas enormes, a tal punto que la contextura del terreno como la organización afecta en la grandeza del cuerpo de poros y en la división del mismo.

Es de suma importancia saber y entender las propiedades de la subrasante, y poder

desarrollar una apropiada proyección de la conducta del suelo. (Crespo, 2004)

El espesor, textura, estructura, porosidad y consistencia son importantes propiedades físicas ya que disponen una connotación directa por la densidad de la zona tomada, raíces, se halla en mayor parte determinada por la constitución física de los confines del suelo.

### **Tipos de Suelo**

Los suelos se determinan como la erosión de partículas originarias de la putrefacción de las rocas. La cual desde la perspectiva geológica es una roca y, por otro lado, en la geotécnica lo define como suelo (Sáenz, 1975)

De la misma forma, los suelos se dividen en dos tipos: Orgánicos, los cuales se encuentran conformados por componentes biológicamente naturales como hummus o una materia en estado de putrefacción, esta última se puede encontrar en lagunas. Y, inorgánicos tales como suelos residuales (producto del intemperismo de las rocas) y suelo transportado (Crespo, 2005, pág. 21).

Existen cuatro tipos principales de suelos: grava, arena, limo y arcillas. La mayor parte de los suelos están compuestos de una mixtura de dos o más elementos, además pueden contener materia orgánica parcial o completamente en descomposición” (Bernal, 2005, p.18)

### **Clasificación de suelos**

Aún no se encuentra un procedimiento de agrupación de aprobación mundial preciso a que las superficies no son una asociación restringida en campo, sino que son un todo persistente que se dispersa a todo rumbo. (Núñez, S, 1951)

Los métodos de distribución de suelos definidos en distintos periodos se pueden conjuntar en: los que se fundamentan como causantes de la naturaleza, los que determinan el suelo acorde a la técnica de modificación y las consideradas propiedades del suelo y los vinculan con su creación. Los primeros son los sistemas más primitivos y los últimos se organizan de forma jerarquizada (cuantitativa o ecológicamente). (Alvarado, 1985)

La organización de territorio autoriza comprender, de aspecto atributivo, las características automáticas de un terreno, atribuyéndole las cualidades geotécnicas del grupo en el que sitúe. De los diferentes métodos existentes para identificar superficies destacan dos: El SUCS basada en análisis granulométrico y AASHTO resulta conveniente y cataloga el suelo según su calidad como cimientos en explanaciones. (Herráez y Moreno, 2019)

### **Clasificación SUCS**

Se define como la carta de plasticidad, que se divide en granos finos y gruesos, las tierras de granos finos se agrupan en arcillas, limos y gredas orgánicas; por otro lado, la grava y arena se encuentra en el conjunto de granos gruesos. (Juárez, 2005)

Esta técnica fue presentada por Arthur Casagrande en 1942, para aplicarse en la edificación de aeropuertos en el tiempo transcurrido de la segunda guerra mundial, y ordena los terrenos en dos grandes clases:

- 1) Superficies de grano grueso son del tipo cascajo arcilloso menores del 50% atraviesa la red N.ª 200. Los representativos del conjunto inician con G o S.
- 2) Superficies de grano fino con 50% o más elevados, atraviesa la red N.º. 200. Los representativos del conjunto son M, C, O y Pt.

En la investigación de Arthur Casagrande se advirtió que se posicionan los suelos en un sistema sincronizado que tienen un final líquido en el eje de las abscisas y al índice plástico en el de las estructuradas, su conjunto no es en forma aleatoria, de manera en que la lista de la carta se encuentren suelos con diferentes distintivos (elasticidad, atributos mecánicos e hidráulicas) específicamente determinadas. (Del Castillo y Rico, 2006).

**Tabla 6:** Símbolos de grupo (SUCS)

| Tipo de suelo | Prefijo | Subgrupo                  | Sufijo |
|---------------|---------|---------------------------|--------|
| Grava         | G       | Bien graduado             | W      |
| Arena         | S       | Pobrememente graduado     | P      |
| Limo          | M       | Limoso                    | M      |
| Arcilla       | C       | Arcilloso                 | C      |
| Orgánico      | O       | Limite liquido alto (>50) | L      |
| Turba         | Pt      | Limite liquido alto (<50) | H      |

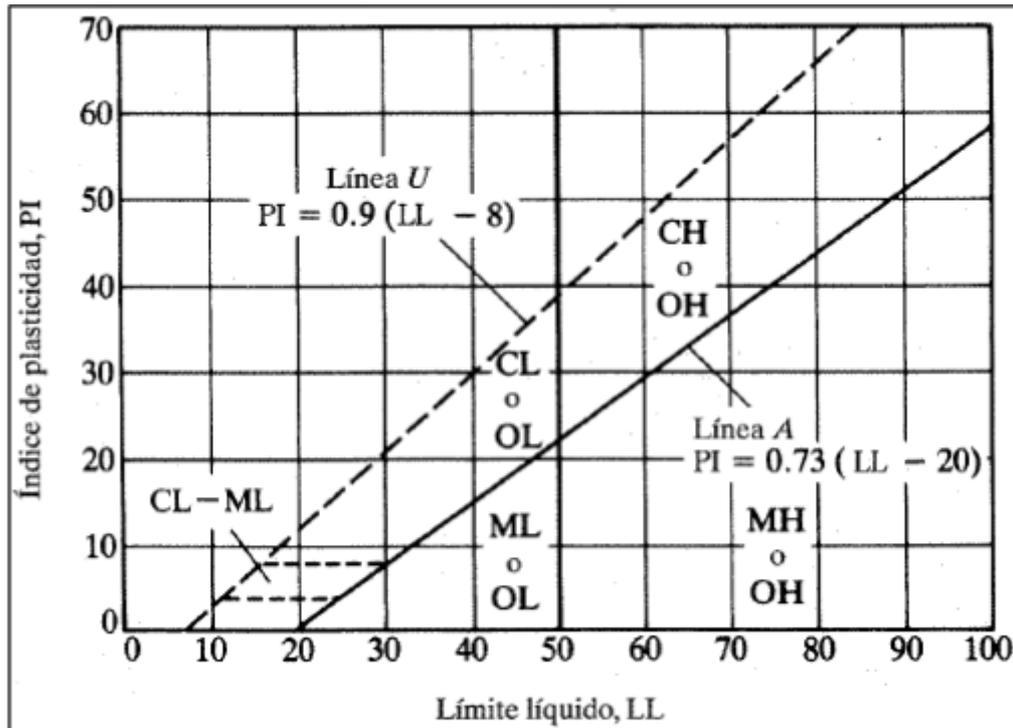
Fuente: MTC; Manual de carreteras.

**Tabla 7:** Tipología de suelos (SUCS)

| Símbolo | Características generales               |                            |                        |
|---------|-----------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| GW      | Grava<br>(>50% en<br>tamiz #4<br>ASTM)  | Limpias<br>(Finos<5%)      | Bien graduadas         |
| GP      |                                         |                            | Pobrememente graduadas |
| GM      |                                         | Con finos<br>(Finos>12%)   | Componente limoso      |
| GC      |                                         |                            | Componente arcilloso   |
| SW      | Arenas<br>(<50% en<br>tamiz #4<br>ASTM) | Limpias<br>(Finos<5%)      | Bien graduadas         |
| SP      |                                         |                            | Pobrememente graduadas |
| SM      |                                         | Con finos<br>(Finos>12%)   | Componente limoso      |
| SC      |                                         |                            | Componente arcilloso   |
| ML      | Limos                                   | Baja plasticidad (LL < 50) |                        |
| MH      |                                         | Alta plasticidad (LL > 50) |                        |
| CL      | Arcillas                                | Baja plasticidad (LL < 50) |                        |
| CH      |                                         | Alta plasticidad (LL > 50) |                        |
| OL      | Suelos<br>orgánicos                     | Baja plasticidad (LL < 50) |                        |
| OH      |                                         | Alta plasticidad (LL > 50) |                        |
| Pt      | Turba                                   | Suelos altamente orgánicos |                        |

Fuente: MTC; Manual de carreteras.

**Figura 05:** Carta de plasticidad, método de clasificación SUCS.



Fuente: Das (2006); Principios de Ingeniería de cimentaciones 5ta edición.

### Clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación AASHTO se usan principalmente para la construcción de carreteras y se basa en los resultados de la determinación en laboratorio en la distribución del material granular y limo arcilloso, el límite líquido y límite plástico.

AASHTO clasifica los territorios en 7 conjuntos denominados por distintivos del A-1 al A-7. Los terrenos no orgánicos se ordenan en 7 conjuntos de A-1 al A-7. Asimismo, están divididas 12 subgrupos. Los pisos con alta magnitud de sustancia natural se categorizan A-8. (Lazo, 2011, sp)

Según Macías et al. (2018, p. 68) este sistema se fundamenta en los consecuentes criterios:

1) Dimensión del grano Grava: fragmento que rebasa la red de 75 mm y se sostiene en la malla N<sup>o</sup>.10 (2mm) de E.U. También, la arena: fragmento que destila la red N<sup>o</sup>. 10(2 mm) E U y es obstruida en la red N<sup>o</sup>.200 (0.75mm) EU. Por último, el limo y arcilla: fragmentos que sobrepasa la red N<sup>o</sup>.200.

2) Plasticidad: la terminación limosa es utilizada en el momento que los fragmentos finos del suelo tienen un indicativo de plasticidad de 10 o menos. De igual manera, la terminación arenosa usado donde los fragmentos delgados comprenden un indicativo de plasticidad de 11 o mayor.

Las estructuras de distribución de suelos otorgan un idioma simple manifestado de manera precisa las cualidades principales de los terrenos, son demasiado diversas sin explicación minuciosa (p, 67).

**Tabla 8:** Clasificación de los suelos – AASHTO

| Clasificación general                        | Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm |        |            |                                      |            |            |                   | Suelos finos más de 35% pasa po el tamiz de 0.08 mm |            |                  |                    |                    |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|------------|--------------------------------------|------------|------------|-------------------|-----------------------------------------------------|------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Grupo                                        | A1                                                        |        | A3         | A2                                   |            |            |                   | A4                                                  | A5         | A6               | A7                 |                    |
| Simbolo                                      | A1-a                                                      | A1-b   |            | A2-4                                 | A2-5       | A2-6       | A2-7              |                                                     |            |                  | A7-5               | A7-6               |
| Analisis granulométrico                      |                                                           |        |            |                                      |            |            |                   |                                                     |            |                  |                    |                    |
| %% que pasa por el tamiz                     |                                                           |        |            |                                      |            |            |                   |                                                     |            |                  |                    |                    |
| 2 mm                                         | máx.50                                                    |        |            |                                      |            |            |                   |                                                     |            |                  |                    |                    |
| 0.5 mm                                       | máx.30                                                    | máx.50 | máx.50     |                                      |            |            |                   |                                                     |            |                  |                    |                    |
| 0.08 mm                                      | máx.15                                                    | máx.25 | máx.10     | máx.3<br>5                           | máx.3<br>5 | máx.3<br>5 | máx.3<br>5        | mín.3<br>5                                          | mín.3<br>5 | mín.3<br>5       | mín.35             | mín.35             |
| Limites Atterberg                            |                                                           |        |            | máx.4<br>0                           | min.4<br>0 | máx.4<br>0 | min.4<br>0        | máx.4<br>0                                          | máx.4<br>0 | máx.4<br>0       | min.40             | min.40             |
| Límite de liquidez índice de plasticidad     | máx.6                                                     | máx.6  |            | máx.1<br>0                           | máx.1<br>0 | min.1<br>0 | min.1<br>0        | máx.1<br>0                                          | máx.1<br>0 | min.1<br>0       | min.10<br>IP<LL-30 | min.10<br>IP<LL-30 |
| Índice de grupo                              | 0                                                         | 0      | 0          | 0                                    | 0          | máx.4      | máx.4             | máx.8                                               | máx.1<br>2 | máx.1<br>6       | máx.20             | máx.20             |
| Tipo de material                             | Piedras, gravas y arena                                   |        | Arena Fina | Gravas y arenas limosas y arcillosas |            |            |                   | Suelos limosos                                      |            | Suelos arcilloso |                    |                    |
| Estimación general del suelo como subrasante | De excedente a bueno                                      |        |            |                                      |            |            | De pasable a malo |                                                     |            |                  |                    |                    |

**Fuente:** MTC; Manual de carreteras de bajo volumen de tránsito, 2008.

La clasificación por el sistema SUCS y la clasificación por el sistema AASHTO, estas se realizan para conocer su granulometría, plasticidad e índice de grupo para luego clasificarlos según el grupo geotécnicamente establecidos, en el siguiente cuadro se tiene correlación de los dos sistemas, clasificación AASHTO y SUCS.

**Tabla 9:** Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS

| <b>Clasificación de Suelos AASHTO</b> | <b>Clasificación de Suelos SUCS</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| A-1-a                                 | GW, GP, GM, SW, SP, SM              |
| A-1-b                                 | GM, GP, SM, SP                      |
| A – 2                                 | GM, GC, SM, SC                      |
| A – 3                                 | SP                                  |
| A – 4                                 | CL, ML                              |
| A – 5                                 | ML, MH, CH                          |
| A – 6                                 | CL, CH                              |
| A – 7                                 | OH, MH, CH                          |

**Fuente:** MTC; Manual de carreteras, 2014.

### **Granulometría por tamizado**

Granulometría es la ciencia de las propiedades físicas de conjuntos o sistemas compuestos de partículas similares a granos, como arena, grava, roca triturada, tiro de aves, semillas y otros. Abarca el estudio y la medición del tamaño, la forma y las características de la superficie de las partículas individuales, así como la influencia de estas propiedades y la gradación de las partículas en las características de empaquetamiento, las propiedades de resistencia mecánica y la permeabilidad de los sistemas de múltiples partículas. Mientras que la granulometría se ocupa principalmente de estos materiales, muchas de sus leyes son de naturaleza geométrica y son igualmente verdaderas para partículas de tamaño atómico y de grandes rocas. Esto permite la utilización, para sistemas de arena y grava, del conocimiento que se obtuvo originalmente en conjuntos de átomos o moléculas y viceversa.

Menciona que es conocido también como gradación del suelo, permite determinar las proporciones en la que participan los granos del suelo según el tamaño. (Escobar y Gonzalo, 2016)

Se realiza la separación fraccionando el suelo, según el tamaño, esto es importante ya que se determina la competencia y eficiencia desde el enfoque geotécnico. Se realizan dos tipos de ensayo, por cerneado para partículas grueso- granulares (gravas y arenas) y el proceso de precipitación para partículas finas del suelo como limos y arcillas, estos no son diferenciados por el proceso de tamizado dado que tiene un comportamiento plástico.

**Tabla 10:** Clasificación de suelos según su tamaño de partículas

| Tipo de material | Tamaño de las partículas     |
|------------------|------------------------------|
| Grava            | 75 mm – 2 mm                 |
| Arena            | Arena gruesa: 2 mm – 0.2 mm  |
|                  | Arena fina: 0.2 mm – 0.05 mm |
| Limo             | 0.05 mm – 0.005 mm           |
| Arcilla          | Menor a 0.005 mm             |

Fuente: Manual de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC, 2008).

**Tabla 11:** Gradación de suelos

| Tamiz          | Porcentaje que pasa |        |       |        |        |        |
|----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
|                | A-1                 | A-2    | C     | D      | E      | F      |
| 50 mm (2")     | 100                 | -      | -     | -      | -      | -      |
| 37,5 mm (1½")  | 100                 | -      | -     | -      | -      | -      |
| 25 mm (1")     | 90-100              | 100    | 100   | 100    | 100    | 100    |
| 19 mm (¾")     | 65-100              | 80-100 | -     | -      | -      | -      |
| 9,5 mm (3/8")  | 45-82               | 65-100 | 50-85 | 60-100 | -      | -      |
| 4,75 mm (N° 4) | 30-65               | 50-85  | 35-65 | 50-85  | 55-100 | 70-100 |
| 2,0 mm (N° 10) | 22-52               | 33-67  | 25-50 | 40-70  | 40-100 | 55-100 |
| 425 µm (N° 40) | 15-35               | 20-45  | 15-30 | 25-45  | 20-50  | 30-70  |
| 75 µm (N° 200) | 5-20                | 5-20   | 5-15  | 5-20   | 6-20   | 8-25   |

Fuente: MTC; EG-2013.

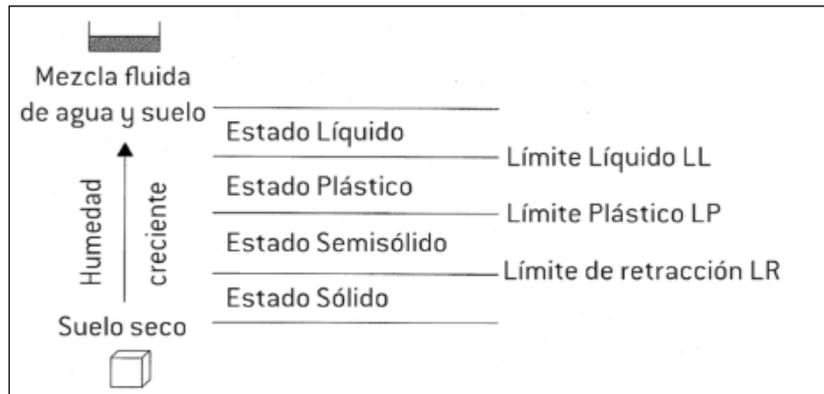
### Límite de consistencia

Los límites de ATTERBERG determinan el volumen de líquido peculiar para el cual una arcilla designada, molida, pueda lograr distintos estados de consistencia relativa. (Graux, 1975)

Los límites de consistencia o límites de Atterberg se establecen en el concepto de suelos finos presentes en la naturaleza, donde se encuentran en diferentes fases, dependiendo del contenido de agua que contenga. Así un suelo se puede encontrar en una fase sólido, semisólido, plástico y líquido.

Según Ulloa (2011, p.40) menciona que el método más apto para medir los límites de humedad es el de Atterberg. Los límites de Atterberg se denominan a los diferentes cambios de un estado al otro, de acuerdo con las normas AASHTO.

**Figura 06:** Límites de Consistencia



Fuente: Trabajos de infraestructura forestal UF0700, p. 154.

### Límite líquido

Volumen de humedad inferior donde el terreno actúa como componente flexible, es decir limita el líquido sucede cuando la masa pasa de estado semilíquido al plástico. (Bowles, 1978)

Volumen de humedad inferior donde el terreno actúa como componente flexible, es decir limita el líquido sucede cuando la masa pasa de estado semilíquido al plástico.

Para la construcción de carreteras afirmadas la utilización de materiales deberá cumplir o ajustarse el Límite Líquido en 35% máx. (MTC, EG-2013)



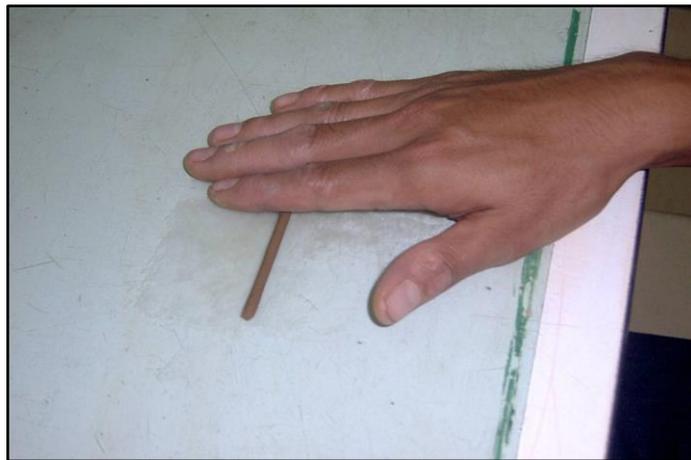
**Figura 07:** Prueba de límite líquido

### Límite plástico

Es el volumen de la humedad por el cual el suelo deja de estar en estado plástico y se convierte en un estado semiplástico. (Montejo Fonseca, 2010)

El suelo es considerado como tangible no plástico puesto que la cabida de humedad que se encuentra por debajo del suelo se localiza en el momento que se enrolla a un diámetro de 3mm. (Bowles, 1978)

nos sirve para conocer el nivel de resistencia  $q$  tiene el suelo antes del corte, es por ello que este procedimiento se da a través de rollitos de cierto tamaño de pulgas o centímetros especificados en la ASTM, en la cual se mide su diámetro y en cuarto se rompe para ver su resistencia al corte. (Iglesias, 2016)



**Figura 08:** Prueba de limite plástico

### Índice de plasticidad

Se define como una característica a obtener es el índice de plasticidad, a la diferencia  $LL$  y  $LP$ , e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece plástico antes de cambiar al líquido. (Montejo Fonseca, 2010)

$$IP = LL - LP$$

**Figura 09:** Formula para obtener el índice de plasticidad.

Se deberá tomar en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su grado de contenido de humedad puede ser un elemento peligroso de una carretera, específicamente en la sub rasante y debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua. (MTC; Manual para diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, 2008)

**Tabla 12:** Características del suelo según el IP

| Índice de plasticidad | Plasticidad | Características           |
|-----------------------|-------------|---------------------------|
| IP > 20               | Alta        | suelos muy arcillosos     |
| 20 > IP > 10          | Media       | suelos arcillosos         |
| 10 > IP > 4           | Baja        | suelos poco arcillosos    |
| IP = 0                | No Plastico | suelos exentos de arcilla |

**Fuente:** MTC; Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Para la construcción de carreteras afirmadas la utilización de materiales deberá cumplir o ajustarse el Índice plástico en 4-9% máx. (MTC, EG-2013)

### **Contenido de humedad**

“Se define como contenido de humedad también se denomina como contenido de agua de un suelo a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su estado sólida” (Rico Rodriguez & Del Castillo, 2001).

El contenido de humedad, se define como la cantidad de agua contenida en un material (suelos, roca, madera, etc.), medida sobre la base de análisis volumétrico o gravimétrico; donde es la relación de la masa de agua y la masa de materia prima”. (Terzaghi, 1943).

Los suelos tienen cantidad de agua almacenada en sus partículas, sin embargo, en diferentes clasificaciones existen aquellas que tienen más o menos contenido, por ejemplo, un suelo orgánico tiene un alto contenido de humedad, pero estos porcentajes ahora pueden ser determinados por un laboratorio, obteniendo una muestra. de suelo natural, sin embargo, si el material proviene de un lugar lejano hasta un laboratorio, se deben tomar medidas preventivas para que no afecte su contenido de humedad. (Das, 2016, p. 29).

La delimitación de humedad accederá a contrastar con el humedecimiento óptimo logrado en las pruebas de Proctor para adquirir el CBR del terreno, aunque la infiltración surge equivalente o menor, el experto manifiesta la condensación usual del terreno y la contribución de la suma provechosa de humedad. Si la saturación normal es mejor a la humedad ideal y conforme a la impregnación de la tierra, se

planteará acrecentar la potencia de compactación, oxigenar la superficie o sustituir el componente repleto. (MTC; Manual de carreteras, 2014).

**Tabla 13:** Masa mínima recomendada

| Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%) | Tamaño de malla estándar | Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados |        |
|-------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                           |                          | a ± 0,1%                                                                                    | a ± 1% |
| 2 mm o menos                              | 2,00 mm (Nº 10)          | 20 g                                                                                        | 20 g   |
| 4,75 mm                                   | 4,760 mm (Nº 4)          | 100 g                                                                                       | 20 g   |
| 9,5 mm                                    | 9,525 mm (3/8")          | 500 g                                                                                       | 50 g   |
| 19,0 mm                                   | 19,050 mm (3/4")         | 2,5 kg                                                                                      | 250 g  |
| 37,5 mm                                   | 38,1 mm (1 1/2")         | 10 kg                                                                                       | 1 kg   |
| 75,0 mm                                   | 76,200 mm (3")           | 50 kg                                                                                       | 5 kg   |

Fuente: MTC; Manual de ensayo de materiales, 2016.

### **Compactación del suelo**

La compacidad y/o densidad de un suelo es el grado de compactación. Es el incremento en la densidad y disminución de macro – porosidad en el suelo.

La compactación aumenta las características de resistencia de los suelos, aumentando de la capacidad de carga. Para los controles de la compactación en el proceso de construcción, es imprescindible realizar las pruebas que permitan determinar la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo de los diferentes suelos. (Montejo Fonseca, 2002)

**Densidad máxima:** Es el máximo peso seco, corresponde a la mayor densidad obtenido en un suelo compactado a la humedad optima de una manera normal preestablecida.

**Óptimo contenido de humedad:** Es el contenido de agua del suelo que produce la máxima densidad seca.

### **Ensayo Proctor modificado**

La compactación es uno de los principales factores para que un suelo obtenga la óptima resistencia, en los cuales también se tiene en cuenta la densidad y humedad. Además, el ensayo Proctor permite una mejor compactación a una energía dada.

La compactación es el proceso que se realiza utilizando medios mecánicos, donde las partículas del suelo son obligadas a mantenerse en unión por medio de la exclusión de oxígeno, cambiando el volumen de la masa del suelo, implicando una reducción rápida de los huecos. El cambio fundamental es el volumen del aire. (Villarroel, 2016)

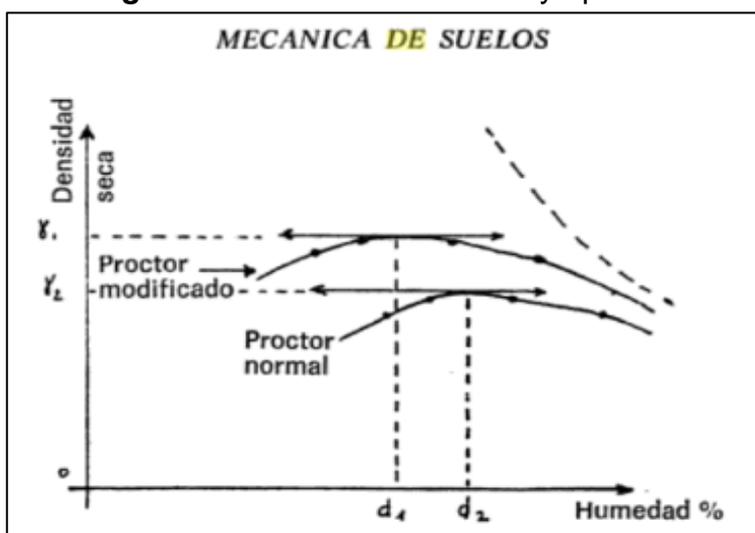
[...] Las pruebas Proctor Estándar y el P. Modificado están hechas para suelos diferentes. El límite de la curva de compactación Proctor estándar oscila del 85 al 97% del máximo correspondiente a la prueba modificada; el factor suelo es el principal para determinar la relación entre ambas pruebas. Además, es notable el acercamiento que ocurre entre los resultados en las dos pruebas en materiales granulares. (Del Castillo, 2005, p.197).

**Tabla 14:** Especificaciones para la prueba de proctor modificado

| Descripción              | Método A                                                                           | Método B                                                                                                                                                    | Método C                                                                                                                                          |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diámetro de molde        | 4" (1016mm)                                                                        | 4" (1016mm)                                                                                                                                                 | 6" (152.4mm)                                                                                                                                      |
| Volumen de molde         | 0.033p3 (944cm <sup>3</sup> )                                                      | 0.033p3 (944cm <sup>3</sup> )                                                                                                                               | (2124cm <sup>3</sup> )                                                                                                                            |
| Peso de pisón            | 10lb (4.45kg)                                                                      | 10lb (4.45kg)                                                                                                                                               | 10lb (4.45kg)                                                                                                                                     |
| Altura de caída de pisón | 18plg (304.8mm)                                                                    | 18plg (304.8mm)                                                                                                                                             | 18plg (304.8mm)                                                                                                                                   |
| Numero de golpe por capa | 25                                                                                 | 25                                                                                                                                                          | 56                                                                                                                                                |
| Numero de Capa           | 5                                                                                  | 5                                                                                                                                                           | 5                                                                                                                                                 |
| Energía de compactación  | 56,000pie lb/p3                                                                    | 56,000pie lb/p3                                                                                                                                             | 56,000pie lb/p3                                                                                                                                   |
| Compactación             | 2700KN-m/m <sup>3</sup>                                                            | 2700KN-m/m <sup>3</sup>                                                                                                                                     | 2700KN-m/m <sup>3</sup>                                                                                                                           |
| Material                 | Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm)                                  | Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg (9,5 mm)                                                                                                     | Se emplea el que pasa por el tamiz ¾ pulg (19,0 mm)                                                                                               |
| Uso                      | Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm) | Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9,5 mm) | Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz ¾ pulg (19,0 mm) |

Fuente: ASTM D1557.

**Figura 10:** Resultados de ensayo proctor



Fuente: Mecánica de suelos, 1975.

### Valor Relativo de Soporte (CBR)

“El ensayo CBR, es una prueba de penetración y se emplea para poder evaluar la capacidad portante de los suelos compactados como para diseño de las carreteras, así como en la clasificación de terrenos”. (Das, 2006)

Es un ensayo que caracteriza la disposición de sostener el suelo, mide su presión necesaria en este, y evalúan los potenciales esfuerzos a los que el suelo será expuesto, pero no se reflejan los efectos de la carga de tránsito. Presentan circunstancias e intervienen en la disposición de sostener los suelos como el soporte al esfuerzo tajante, que depende del espesor logrado y su humedad, los suelos impregnados tienen menor amplitud de soporte de sostén en contraste a superficies no abarrotados, exigiendo la correlación que a más humedad inferior sería la disposición de sostener el terreno. (Rojas, 2011)

Por ello, comprende la disposición de sostén precisa ejecutar pruebas, a vías logrando producir una prueba simple como el CBR, ya que esta prueba representa el aprovechamiento de cargamento y desproporciones dando una opinión utópica en tanto el terreno obtendría al ser usado para distintos propósitos edificantes. (Mamani y Yataco, 2017)

Este ejemplar de estudio es significativo en el diseño de pavimentos flexibles, según la norma ASTM D1883, está definido por la relación de la presión para penetrar

0.25 cm de la muestra y la presión necesaria para obtener dicha penetración en un material arbitrario. En la figura 11, se pueden observar algunas penetraciones y presiones utilizadas como patrones.

$$C.B.R. = 100 \times \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}}$$

**Figura 11:** Expresión detallada al método de CBR.

Fuente: ASTM 1883

Según las normas, el ensayo de CBR, determina las propiedades mecánicas de un suelo, mide la presión necesaria para que un pistón penetre una muestra de suelo a velocidad constante de 1.27mm/min a 0.1” y 0.2” de profundidad. Es un ensayo para medir la capacidad de carga del suelo de las carreteras. Específicamente para las capas de la sub rasante se considerarán suelos con CBR≥6%, de obtener los valores menores se deberá realizar una estabilización, mediante el mejoramiento o reemplazo del suelo.

**Tabla 15:** Medidas de penetración y presión en el vástago

| Penetración |         | Presión en el vástago |          |
|-------------|---------|-----------------------|----------|
| Centímetro  | Pulgada | kg/cm2                | lb/pulg2 |
| 0.25        | 0.1     | 70                    | 1,000    |
| 0.5         | 0.2     | 105                   | 1,500    |
| 0.75        | 0.3     | 133                   | 1,900    |
| 1           | 0.4     | 161                   | 2,300    |
| 1.25        | 0.5     | 182                   | 2,600    |

Fuente: ASTM 1883.

Según Bowles (1980, p.16) menciona que el CBR es utilizado para crear una relación entre el comportamiento del suelo, principalmente para la utilización en la base y subrasante en asfaltos de vías vehiculares y pista aéreas.

**Tabla 16:** Clasificación del suelo en función de la subrasante

| CBR   | Calificación    | Uso            | SUCS                   | AASHTO              |
|-------|-----------------|----------------|------------------------|---------------------|
| 0-3   | Muy pobre       | Subrasante     | CH, MH                 | A5, A6, A7          |
| 3-7   | Pobre - regular | Subrasante     | CH, MH                 | A4, A5, A6, A7      |
| 7-20  | Regular         | Subrasante     | CL, ML, SC, SM, SP     | A2, A4, A6, A7      |
| 20-50 | Bueno           | Base - subbase | GM, GC, SW, SM, SP, GP | A1b, A2-5, A3, A2-6 |
| >50   | Excelente       | Base           | GW, GM                 | A1a, A2-4, A3       |

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J. 1980

De la misma forma el (MTC, 2014), clasifica a los suelos según los diferentes tipos de condición de la subrasante.

**Tabla 17:** Categorías de subrasante

| <b>Categoría de subrasante</b> | <b>CBR %</b> |
|--------------------------------|--------------|
| S0: Subrasante inadecuada      | < 3%         |
| S1: Subrasante insuficiente    | ≥3% a <6%    |
| S2: Subrasante regular         | ≥6% a <10%   |
| S3: Subrasante buena           | ≥10% a <20%  |
| S4: Subrasante muy buena       | ≥20% a <30%  |
| S5: Subrasante excelente       | ≥ 30%        |

Fuente: Manual de carreteras; sección suelos y pavimentos (MTC, 2014).

De la misma forma el (MTC, 2008), clasifica a los suelos según los diferentes tipos de condición de la subrasante.

**Tabla 18:** Clasificación de subrasante

| <b>Categoría de subrasante</b> | <b>CBR %</b> |
|--------------------------------|--------------|
| S0: Subrasante muy pobre       | < 3%         |
| S1: Subrasante pobre           | 3% - 5%      |
| S2: Subrasante regular         | 6 - 10%      |
| S3: Subrasante buena           | 11 - 19%     |
| S4: Subrasante muy buena       | > 20%        |

Fuente: Manual de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC, 2008).

Se imaginara capacitados terrenos que tengan un CBR elevado o semejante a 6%. En caso contrario, se desechará dicho material y a su sustituto, o a su estabilización. (Ravines Merino, 2010).

“(…) Para la construcción de carreteras afirmadas la utilización de materiales deberá cumplir o ajustarse el CBR al 40% mínimo”. (MTC, EG-2013)

### **Estabilización y mejoramiento**

Se define como la modificación de las propiedades de suelos, mediante el mejoramiento y estabilización durante la construcción de las capas estructurales de las carreteras, constituidas con los materiales provenientes de la escarificación de la capa superficial existente, o por material de préstamo, o mezcla de ambos, incrementado su desempeño mecánico y durabilidad mediante procesos físico-químicos, considerando el menor deterioro ambiental y quitando los riesgos para la salud de los seres vivos. (Fernández Loaiza, C. 1993).

Se define como mejoramiento de suelos, la modificación de las características físico mecánico del suelo y en varias se realizan con adición un producto químico. El mejoramiento mecánico rutinario es mediante la compactación o la mezcla de dos materiales, a efectos de obtener características deseables. (Sánchez y otros, 2016)

### **Estabilización de suelos**

La estabilidad de los suelos es la mejora de las características físicas de un suelo mediante procedimientos o instrucciones mecánicos y adicionando los productos químicos, naturales o sintéticos. Frecuentemente se realizan en los suelos de sub rasantes inadecuados, en este caso es conocido como estabilización de suelo cal y suelo cloruro de sodio y otros productos con funciones similares. Las estabilizaciones de los suelos con resultados de mejoras, donde se obtendrá un material de mejor calidad se denominara como suelos tratados para su uso en la estructura de una carretera. (MTC; Sección suelos y pavimentos, 2014)

La estabilidad de los Suelos con el paso del tiempo, los estabilizadores tradicionales como la cal y el cemento han sido frecuentemente estudiados y experimentados su efectividad fue comprobada, sin embargo, la innovación es algo que se debe dar en el campo de la ingeniera, es por ello, que se debe experimentar con materiales no convencionales para la aportación. (Torrente,2015, p.43)

Con respecto a lo anterior, son numerosos las instrucciones que alcanzan seguirse para conseguir ese restablecimiento de las características de los suelos, con panorama a hacerlos adecuados para algún uso determinado, lo que compone la estabilización. (Rodríguez & Del Castillo, 2014, p.69).

Una superficie firme es aquella que muestra la resistencia adecuada contiene no lograr imperfecciones ni deterioros por la aplicación de carga o el uso de los dependientes atmosféricos y del clima, cuando un terreno fundación muestra estas tipologías es recomendable considerar ser utilizada para el pavimento de un camino, sin embargo, en ciertas ocasiones del transcurso constructivo el terreno fundación no llega a cumplir con las particularidades emplazadas para que logre una capacidad de carga admisible, es por ello que las características de estabilidad volumétrica dependen directamente de sus propiedades mecánicas como son: firmeza, filtración, compresibilidad y estabilidad. Para esos argumentos el ingeniero

residente o el comprometido va a tener la carestía de decidir entre: admitir el suelo tal y como es sin modificarlo basándose en su mala calidad y soporte; o excluir el suelo y sustituir, Por último, se puede mezclar con material de cantera, para así modificar sus propiedades mecánicas y sea un suelo estabilizado y viable para su construcción. (Mateo de vicente, 2015, p.133).

La estabilización de suelos es la aplicación de métodos, mecánicos como la compactación o químicos mediante el uso de aditivos para el mejoramiento del terreno natural y su desempeño en base la necesidad del momento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p.39)

La estabilización del suelo implica usar algún material como agente para la mejora en suelos débiles para mejorar sus propiedades Mecánicas geotécnicas por ejemplo la compresibilidad, la resistencia, la permeabilidad y la durabilidad. Los componentes de la tecnología para estabilización influyen directamente a los suelos y / o minerales del suelo y agentes estabilizantes o aglutinantes (materiales de cemento. (Montejo, 2014, p.26)

En la actualidad existen innumerables métodos de estabilización, como son Estabilización mecánica, química, por compactación y etc., sin embargo, no es mucha la presencia de investigaciones que tomen materiales orgánicos o reciclables para la aplicación en pavimentación y menos en resistencia del suelo. (Torrente, 2015, p.78)

Ante las múltiples maneras de estabilizar un suelo, se tiene la problemática de la falta de experimentación con materiales no comunes, experimentar ya sea si se obtiene un resultado positivo o negativo.

La estabilización mecánica por los cambios morfológicos del suelo es vista en la granulometría que es un proceso en el cual se puede conocer los estándares de dureza, finura, y etc. Esta estabilización consiste en mejorar el suelo sobre el que se va a construir mezclándolo con otro material que puede ser de cantera, para así lograr mezclar las partículas y realizar el tamizado, pudiendo obtener una nueva clasificación de suelo, con mayor resistencia. (Quezada, 2017, p.13)

La Compactación tiene la finalidad de concentrar las moléculas del suelo, creando una corteza de dureza, la cual dará mayor resistencia al suelo, en algunos casos tan bien puede mezclarse con un material de cantera y junto al terreno natural ser compactado.

Hay diferentes métodos de estabilización como: mejoramiento por reemplazo de suelos de la subrasante, estabilización mecánica, mejoramiento por mezcla de suelos, estabilización con cal, estabilización con cemento, estabilización con escorias, estabilización con emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros). De lo citado de las metodologías de estabilización, se requiere los ensayos que demuestren los resultados idóneos y así garantizar la conservación de vías en forma simple, económica y con equipos disponibles. (MTC; Sección suelos y pavimentos, 2014)

**Tabla 19:** Criterios geotécnicos para estabilizar un suelo

| <b>Criterios para estabilizar un Suelo</b> |                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                          | Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR $\geq$ 6%.                                            |
| 2                                          | subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento. |
| 3                                          | subrasantes que se quedan por debajo del nivel de la napa freática.                                                                        |
| 4                                          | En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos                                                          |
| 5                                          | Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.             |

Fuente: Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos (MTC, 2014)

### **Tipos de estabilización del suelo**

La estabilización del piso es un desarrollo el cual las superficies nativas son sometidos, de tal forma se puedan aprovechar sus cualidades, pues, al estabilizar obtenemos una cobertura de suelo fijo, firme y duradero, por lo que es idóneo de aguantar los efectos de la circulación y circunstancias climáticas riguroso. La estabilización del terreno asimismo es la modificación de una carencia que logra proporcionar más firmeza al terreno; los tipos de formas para conseguir son: Estabilización física, sintética y mecánica. (Valle, 2010)

### **Estabilización física**

Este procedimiento se manipula para optimizar la superficie provocando variaciones físicas en el propio, sin generar alguna reacción química de gran estimación. Existen diversas metodologías como: estabilización por concentración y estabilización aplicando la mixtura de superficies. (Valdez, 2018, pág., 23)

### **Estabilización mecánica**

Esta estabilización consta en la adulteración de las características de la superficie mediante la combinación de 2 o más componentes y su siguiente compactación, con la intención de adquirir un distinto componente de mayor disposición y que ejecute con todos los requerimientos.

Las cualidades de frecuentemente se prefieren renovar son la flexibilidad y/o la granulometría, las cuales influyen a la suspensibilidad del basto al agua, su contenido drenante, firmeza, empleabilidad y macicez (Bañon et al., 2000).

### **Estabilización química**

Se realiza mezclando conglomerantes hidráulicos, cal o cemento, y agregando a la mezcla a los terrenos o materiales a arraigar. Por otra parte, esta mixtura se emplea esencialmente en suelos pedregosos o de arena bruta de 0-2 mm, y se logra distinguir en los siguientes tipos fundamentales: Estabilización con cal y cenizas volantes (con áridos y cemento). (Ingeniería Geo ambiental, 1995, pag.287)

Se usa por la incorporación de agentes estabilizantes químicos; generalmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento portland, entre otros. Se busca obtener las propiedades del suelo modificado con los estabilizantes químicos; y así darle mayor capacidad de respuesta a las exigencias de carga dinámica a los que estará sometido. (Ravines, 2010)

### **Aceite quemado de motor**

Son sustancias que contienen componentes químicos como fósforo, azufre, carbono, según referencias bibliográficas, para el manejo de los aceites residuales en Europa son "Todos los aceites industriales con base mineral o sintética, lubricantes que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiere asignado inicialmente por funcionamiento de motores, en particular, los aceites

usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas y sistemas hidráulicos.”

También aceite residual es exactamente cualquier aceite proveniente de petróleo crudo o sintético que haya sido utilizado durante el uso normal en los vehículos motorizados. (Godínez Viacava, 2013) (15)

“El aceite residual contiene los principales contaminantes volátiles (combustible), solubles (aditivos de aceite), insolubles (partículas de carbono), oxido de metales conteniendo oxido de plomo junto con una gran cantidad de desgastes metálicos”. (Quiñones, 2017)

### **Composición de aceites usados**

Los aceites residuales son una composición muy compleja de los productos químicos. contiene residuos generados por el desgaste del motor, color negruzco en comparación al color marrón claro del aceite nuevo.

Los aceites están mezclados de base sintética o mineral con aditivos durante su uso se contaminan con los siguientes:

- Los ácidos orgánicos originados por oxidación de azufre de los combustibles.
- Partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción. compuestos de zinc, cloro, y fósforo.
- Son procedente de los combustibles.
- Hidrocarburos carbono e hidrogeno.
- En general los elementos químicos estudiados en laboratorio contienen el aceite residual son: zinc, cloro, fósforo, azufre, carbono.

### **El aceite quemado residual en el suelo.**

El aceite residual es una mezcla de hidrocarburos que contiene restos de desgaste de motor durante el uso de funcionamiento de motores y sistema de transmisión de las maquinarias pesadas pierden sus propiedades y características volviéndose inadecuados cuando se impregna el aceite en los suelos tiene las siguientes reacciones:

- Aumenta su densificación

- Elimina la permeabilidad del suelo
- Elimina agua por impacto de iones

El lugar donde se realizó el derrame de aceite quemado en general se produce impacto de energía por contener sustancias químicas tanto del aceite quemado como el suelo (Huaquisto, 2014) (6).

### Viscosidad del aceite quemado

Es la resistencia de moléculas que tienen el líquido a fluir, por lo tanto, cuanto más viscoso sea un líquido del aceite mejor la resistencia, y esto ayuda al endurecimiento y durabilidad del suelo.

**Tabla 20:** Características del aceite residual

| <b>Viscosidad del aceite quemado residual</b> |                    |                   |
|-----------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Ensayo</b>                                 | <b>Temperatura</b> | <b>Viscosidad</b> |
| Viscosidad a 100°C                            | D445               | 13.80             |
| Metales de desgaste                           |                    |                   |
| SAE15w40w                                     | 0°                 | 4.10              |
| SAE15w40w                                     | 10°                | 8.00              |
| SAE15w40w                                     | 30°                | 9.30              |

Fuente: Reyes Ortiz, 2001.

### Caracterización física química de aceite residual

Según el (Auccapure, 2019), el aceite residual se ha obtenido en un recipiente de botella descartable de 2 litros, luego ser trasladado al laboratorio de Química de la UNSAAC Cusco, para realizar los ensayos químicos y así obtener sus características que poseen.

**Tabla 21:** Cuadro resumen de propiedades químicas del aceite residual

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| <b>P.E. (20°)</b>       | <b>0.859</b> |
| Punto de inflamacion °C | 220 - 225    |
| Punto de combustion °C  | 240 - 245    |
| Insolubles en benceno % | 0.88         |
| Ceniza %                | 0.52         |
| Fe (hierro) ppm         | 16.30        |
| Cobre Cr ppm            | 8.20         |
| Aluminio Al ppm         | 13.80        |

Fuente: UNSAAC; Facultad de ciencias químicas y físicas.

## Características del aceite

El aceite se adquiere en un taller que se dedica a la extracción y reciclaje de dicho material, por medio de investigaciones previas se conoce que la mayoría de aceites presentan las propiedades mostradas a continuación.

**Tabla 22:** Características de los aceites de motor usado en Colombia

| Características              | Automotor      |
|------------------------------|----------------|
| Viscosidad a 40 °C, SSU      | 97 - 120       |
| Gravedad 15.6 °C, °API       | 19 - 22        |
| Peso Especifico a 15.6 °C    | 0.9396 - 08692 |
| Agua, % Vol.                 | 0.2 - 33.8     |
| Sedimentos, %Vol.            | 0.1 - 4.2      |
| Insolubles en Benceno, %peso | 0.56 - 33.3    |
| Solubles en Gasolina, %vol.  | 2.0 - 9.7      |
| Punto de Ignición, °C        | 78 - 220       |
| Poder Calorífica, Mj/kg      | 31.56 - 44.88  |

Fuente: Unidad de planeamiento minero energética, 2001.

Por motivos de costo la gravedad específica del aceite de motor usado no se halló siguiendo la norma ASTM D-1298, se encuentra por medio de una probeta, donde se obtiene el volumen para diferentes pesos de aceite y por secado en horno se sabe que el aceite no contiene agua. La relación entre peso y volumen para el aceite se asume como peso específico relativo de los sólidos, ya que el peso específico del agua generalmente se toma como 1 g/cm<sup>3</sup>, de esta manera por medio de la siguiente ecuación, se obtiene el peso específico (Gs) de este aceite.

## III.METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de investigación:

La investigación será de **tipo aplicada** debido a que parte de los antecedentes que se realizaron en otras investigaciones. Al respecto Rosa Zoila Vargas (2009) sostiene que la investigación aplicada “requiere un marco, es decir, seleccionar teorías en cual exponen definiciones centrales y sus rasgos contextuales de acuerdo a la problemática identificada”.

Está basado en un **diseño experimental** ya se está manipulando una de las variables, en esta investigación se asignan porcentajes de incorporación de aceite residual a las futuras muestras de la variable independiente. Según Niño (2011)

sostiene que “un diseño experimental implanta relaciones de causa y efecto, así mismo descubre, comprueba, niega o confirma teorías”.

Además, consta de un **diseño cuasiexperimental**, que es derivado del diseño experimental, ya que el investigador definirá el lugar de donde se extraerá la muestra a evaluar. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que “los diseños cuasiexperimentales consisten en manipular una variable independiente con el fin de observar el resultado que representa sobre las variables dependientes” (p. 184).

Es de **nivel explicativo** debido a que va a determinar a través de resultados el mejoramiento de la subrasante tras la incorporación de aceite residual de manera independiente, y se explicarán detalladamente los procedimientos empleados. Al respecto Niño (2011) señala que “implica averiguar las causas de las cosas y hechos de la realidad, respondiendo preguntas fundamentales con la finalidad de conocer el porqué de los sucesos” (p. 35).

Es de **enfoque cuantitativo** ya que parte de una hipótesis cuyo resultado será representado numéricamente, es decir, en cuanto mejorará la plasticidad, compactación y resistencia de la subrasante. Por otro lado, Niño (2011) mencionan que “está relacionado con la cantidad y utiliza principalmente las mediciones y cálculos” (p. 31).

### **3.2. Variables y operacionalización:**

**Variable independiente:** Aceite residual

**Variable dependiente:** Mejoramiento de la sub rasante

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población:**

Según Niño (2011) sostienen que “la población se constituye por una totalidad de elementos que conforman el ámbito de la investigación”.

La presente investigación, estuvo conformado por la totalidad de sub rasante de la carretera Platería Perka, Tramo: Platería – C.P. Perka, ubicado en el Distrito de Platería, Provincia y Región de Puno, la cual está situada sobre 3,856.00 msnm.

**Muestra:**

Al respecto Niño (2011) sostiene la muestra es una representación de la población, que es seleccionada con la finalidad de estudiar las características de una población total”.

La muestra está conformada por todas las sub rasantes de la carretera Platería Perka. Se tomarán muestras de acopio de la Cantera ubicado en Km 6+700 lado derecho, y una vez obtenida la muestra, se procederá a realizar los ensayos descritos anteriormente.

**Muestreo:**

Según Niño (2011) señala que “el muestreo se define como la técnica mediante el cual se calcula la muestra de la población”.

La técnica aplicada fue el tipo de muestreo **no probabilístico**, debido a que la muestra está delimitada por el investigador, el decir, no se escogió al azar. Se obtuvo de la cantera disponible para la extracción de las muestras según los criterios del investigador, a lo largo de la carretera Platería Perka.

**3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos, validez y confiabilidad**

**Técnica.** Niño (2011) sostiene que “se entiende como la actividad que implica la investigación, son llamados también métodos o como el instrumento que se aplicará a la investigación”.

La técnica aplicada en el proyecto de investigación será la observación, debido a que es el método más confiable que acerca a la verdad. Según Niño (2011) señala que “la observación nos permite tener conocimiento del mundo cotidiano y evadir sus peligros y solventar sus necesidades”.

**Instrumento de recolección de datos.** En cada variable se aplicarán diversos instrumentos, como ensayos efectuados en laboratorio con el fin de obtener resultados confiables en cuanto a los diferentes ensayos mencionados anteriormente para poder determinar el comportamiento del aceite residual, en la estabilización de sub rasante de la carretera Platería Perka. Según Baena (2017) señala que “los instrumentos son considerado como apoyo de la técnica con la finalidad de que cumpla con su propósito” (p.83).

**Validez.** El proyecto de investigación será validado por el juicio de especialistas en el área de la Ingeniería Civil, que consistirá en validar los instrumentos que se aplicarán en el desarrollo de los ensayos de laboratorio, y a través de la obtención las firmas de tres especialistas en el tema se dará mayor consistencia a los instrumentos propuestos.

**Confiabilidad.** En el proyecto de averiguación, se relación la confiabilidad con la calibración de los equipos empleados en los ensayos de laboratorio, con el fin de garantizar de que los resultados conseguidos en los ensayos son los más exactos posibles y a la vez son confiables.

### **3.5. Procedimientos**

Para el terreno en estado natural, se tomará una muestra de acopio de la cantera para la ejecución del presente proyecto, con el fin de establecer el contenido de humedad de la muestra, análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg y posterior a ello se resultará a clasificar el suelo por los métodos SUCS y AASHTO. Seguidamente se realizará la compactación del suelo con un arranque modificado (Proctor Modificado) para determinar los valores de la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad, finalmente se realizará el ensayo del CBR para determinar el porcentaje del índice de resistencia del suelo en estado natural. Por otro lado se tendrá el terreno tratado, que consistirá en la incorporación del aceite residual a la muestra, se comenzará realizando los límites de Atterberg para determinar de qué manera afectará la plasticidad del suelo, seguidamente se realizará la compactación del suelo con una energía modificada (Proctor Modificado) con la incorporación de las diferentes dosificaciones del aceite residual (1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%) con el fin de calcular los nuevos valores de la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad. Finalmente, se calculará el CBR del terreno tratado con la incorporación de las diferentes dosificaciones del aceite residual (1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%) para determinar el índice de resistencia del terreno tratado.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la actual investigación se realizarán los ensayos de contenido de humedad de un suelo, análisis granulométrico de suelos por tamizado, límite líquido de los suelos (LL), límite plástico de los suelos (LP) e índice de plasticidad (IP),

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) y finalmente el ensayo de CBR de los suelos (laboratorio). A continuación, se detallará como se llevará a cabo cada ensayo de manera sintetizada siguiendo rigurosamente el Manual de Ensayos de Materiales 2016 establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### 3.7. Aspectos éticos

El proyecto está realizado con mucha transparencia, compromiso, responsabilidad y sobre todo respeto por los antecedentes, citándose de manera adecuada ya que sirvieron como principal fuente de información. Por otro lado, el presente proyecto se elaboró guiándome del Manual de Ensayos de Materiales 2016 establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones con el fin de obtener resultados confiables durante el desarrollo de los diferentes ensayos propuestos.

**Tabla 23:** Método de análisis de datos

| ITEM | NOMBRE DE ENSAYO                                                     | PROCEDIMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Ensayo de contenido de humedad ASTM D 2216 (MTC E108)                | Presentar la muestra en una bandeja y cuartearla, colocar la muestra en un recipiente previamente pesada y anotar los datos de peso suelo húmedo más recipiente en un formato dado, seguidamente colocar en el horno eléctrico durante 24 horas de secado, después anotar el peso de suelo seco más recipiente. Repetir este ensayo por lo menos dos veces para obtener el promedio de los contenidos de humedades de ambos ensayos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2    | Ensayo de análisis granulométrico por tamizado ASTM D 422 (MTC E107) | La muestra debe estar seca, para poder registrar el peso de suelo seco de un cuarteo, al tratarse de una arcilla se dejará remojar en el agua potable para ablandar las partículas arcillosas y con la mano se desmenuzará el suelo se lavará las partículas arenosas por el caño de laboratorio, y se dejará pasar por la malla N°200 (0.075mm) para parte de finos limosa y arcillosa, cuando se observa que las partículas arenosas están limpias y el agua es transparente, se coloca al pocillo para secar las partículas arenosas al horno eléctrico durante 18 horas, después de secado y enfriado se pesa las partículas arenosas y se pasa al juego de tamices para colocarlo en el agitador. Seguidamente se toman los pesos retenidos en cada malla utilizada y se anotan los datos. Finalmente, en la hoja de cálculos, se debe tener cuidado al calcular |

|   |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                              | los pesos retenidos con el peso antes de lavar por la malla, y poder determinar el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa la malla N°200.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3 | Determinación del Límite líquido de los suelos MTC E110                                      | En una muestra de suelo secado al aire, desmenuzar con un mortero las partículas sólidas y pasarlo por el tamiz N°40(0.425mm). Para el límite líquido se remoja la muestra para que se sature, ya que se trata de arcilla, se satura durante una noche para que al día siguiente esta muestra se coloque en la copa paralelo a la base de caucho de la copa y se acanala dejando dos taludes iguales y se procede a accionar la copa dos golpes por segundo hasta que se junte los taludes en el fondo de la copa a una separación de 1cm, se anota los números de golpes. Se observa los tres puntos en el gráfico y se traza una línea entre estos, seguidamente se lee a 25 golpes de la gráfica el límite líquido.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4 | Determinación del límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (I.P) MTC E111 | Para determinar el límite plástico, se amasa el suelo para obtener rollitos de 3mm de diámetro (1/8") hasta que se agriete el bastoncito y se registra el peso del suelo húmedo más recipiente en duplicado para obtener el límite plástico que está en función de los promedios de los contenidos de humedades. Seguidamente se calcula el índice de plasticidad, que consiste en la diferencia del límite líquido y límite plástico. Seguido a ello se procede a clasificar el suelo por los métodos SUCS y AASHTO.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 5 | Ensayo de Compactación (Proctor Modificado) ASTM D 1557 (MTC E115)                           | La muestra se seca al aire y se tamiza por la malla N°4(4.75mm) todo el material, para pesar cuatro bandejas con seis kilos cada uno, remojar con agua calculada de 6%, 8%, 10% y 12% al suelo, dejarlo saturar una noche en bolsa plástica herméticamente sellada, luego de este tiempo se presenta, en una bandeja, el suelo saturado (6%, 8%, 10% y 12%) para iniciar con la compactación en un molde cilíndrico indicado, en 5 capas con 56 golpes por capa, en la última capa exceder un poco sobre la altura del molde para enrasar la muestra y registrar el peso del molde más suelo compactado en un formato ya establecido, extraer el espécimen con un extractor de muestra y tomar el contenido de humedad de cada muestra extraída, tomar el peso del molde y medir el diámetro y altura del molde cilíndrico para calcular el volumen del molde de compactación. Finalmente se grafica la curva de compactación ploteando en la vertical la densidad seca y horizontal el contenido de humedad, |

|   |                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                              | obteniendo así la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 6 | Ensayo California Bearing Ratio (CBR) ASTM D 1883 (MTC E132) | Mezclar la muestra y agua para llegar al óptimo contenido de humedad, compactación de la muestra de suelo en cinco capas con diferentes números de golpes por capas (56, 25 y 10 golpes por capa), tomar el dato de suelo compactado más molde, colocar el molde sobre base perforada con papel filtro en la base y parte superior de la muestra, colocar las pesas anular (10 lbs) de sobrecarga a cada molde compactado y sumergirlo en poza de saturación durante cuatro días e instalar el deformímetro para registrar posibles expansiones, luego escurrir el molde más muestra saturada y colocarlo en la prensa para registrar las lecturas del dial contra la penetración en pulgadas a una velocidad de aplicación de 0.05 pulgadas por minuto. Finalmente graficar la carga en libras contra penetración en pulgadas para 56, 25 y 10 golpes por capa, corregir y obtener para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración los valores cargan en libras corregidas y se grafica la densidad seca (56, 25 y 10 golpes por capa) contra el porcentaje de CBR de 0.1" y 0.2" y a 95% de máxima densidad seca se obtiene el índice de CBR. |

Fuente: Elaboración propia

## **IV. RESULTADOS**

### **Ubicación Geográfica**

#### **Nombre del proyecto:**

La presente tesis tiene por título “Mejoramiento de la sub rasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021”

#### **Ubicación de la Zona de estudio:**

La presente tesis se realizó en el distrito de Platería, ubicada específicamente en la carretera Platería Perka cuya coordenada es 15°55'57.99"S con 66°46'55.00"O con una elevación de 3,856 msnm ubicada exactamente entre las progresivas 0 + 000 hasta la progresiva 14 + 000.

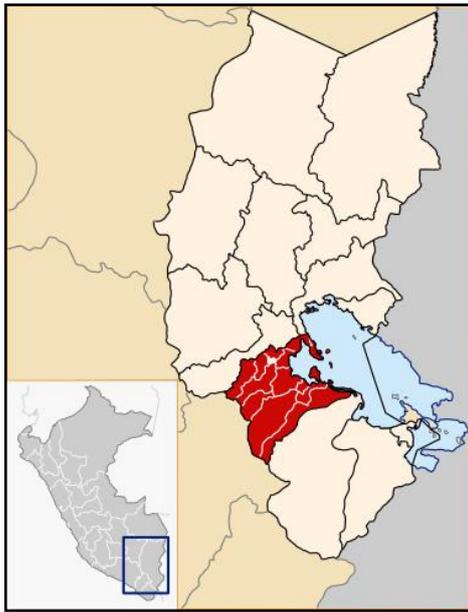
El objetivo de la presente tesis es determinar la influencia de la adición del aceite residual de vehículos motorizados en porcentajes de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, en el mejoramiento de la estabilidad del suelo GP-GC (grava pobremente graduada con arcilla y arena) para su uso como sub rasante en la carretera Platería Perka, Puno, 2021.

El área de influencia de la presente tesis, se encuentra ubicada en:

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| Región            | : | Puno.     |
| Departamento      | : | Puno.     |
| Provincia         | : | Puno.     |
| Región Geográfica | : | Sur.      |
| Distrito          | : | Platería. |

El Distrito de Platería posee un total de 7,121 habitantes con una densidad de 29 59hab/km<sup>2</sup> es uno de los 15 distritos de la Provincia de Puno con una extensión de 240.63km<sup>2</sup> y está muy cerca del Lago Titicaca, la población va en crecimiento con respecto a años anteriores, el Distrito de Platería limita por el sur con el distrito de Acora, por el norte con el Distrito de Chucuito, por el este con el Lago Titicaca y por el oeste con el distrito de Laraqueri.

## Localización geográfica del Proyecto



**Figura 12.** Ubicación del Distrito de Puno en el mapa del Perú y Puno.



**Figura 13.** Ubicación del Distrito de Platería en el mapa de Puno



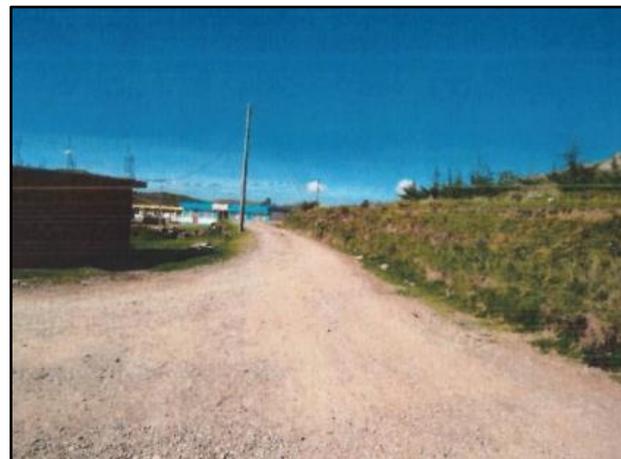
**Figura 14.** Ubicación de la carretera platería Perka.  
Fuente: Google Earth.

### Accesibilidad a la Zona de Estudio:

Para llegar al área de intervención, partiendo desde el terminal zonal de Puno hasta el Distrito de Platería por la panamericana sur km 28, a partir de la intersección de la carretera panamericana sur inicia el área de estudio de la presente tesis.



*Figura 15.* Inicio del tramo Km 0+000, Platería.



*Figura 16.* Fin de tramo Km 14+000, Perka.

### **Estado actual de la zona del proyecto:**

La vía en estudio tiene las mismas características a lo largo del tramo de Platería Perka, por lo que, a continuación, para un mejor análisis se describe el tráfico actual que generalmente está compuesto por el tráfico de carga pesada y vehículos livianos que es el que existe actualmente, la superficie de rodadura existente es afirmada con baches y ahuellamientos.

### **Trabajo de Campo**

#### **Ubicación de las canteras**

Se realizó 01 muestreo en acopio de la cantera de cerro, que comprende el estudio de la presente tesis, asignando un código para reconocer objetivamente, M-01.



Figura 17. Ubicación de la cantera en situ M-01.

La cantera de muestra granular M-01, propuesto para el mejoramiento de la sub rasante se encuentra ubicada en la progresiva 6+700, la cual se desarrolla respetando los procesos, procedimientos, normas y reglamento que están vinculadas a los ensayos de materiales, de modo que se realice los ensayos con objetividad.



Figura 18. Acceso a la cantera lado derecho.

Se determinó realizar los ensayos de laboratorio con la muestra obtenida del material en acopio M-1, debido a que se encuentra ubicada favorablemente en nuestra zona de estudio y cumple las condiciones, características y propiedades físicas del área de estudio.

**Tabla 24:** Ubicación y descripción técnica de la cantera

| Muestra | Progresiva | Profundidad | Lado    | Coordenada   |              |
|---------|------------|-------------|---------|--------------|--------------|
| M-01    | 6 + 700    | Acopio      | Derecho | 15°55'24.51" | 69°46'49.56" |

Fuente: Elaboración propia.

## **Trabajo de Laboratorio**

Se realizó 01 ensayo de granulometría (NTP 339.132, 2014), las muestras fueron tomadas del acopio de la Cantera de Cerro Pallalla con código M-1, para determinar su clasificación granulométrica de las partículas que están compuesta la muestra, se realizó la clasificación de los suelos mediante el sistema AASTHO (NTP 339.135, 2014) y SUCS (NTP 339.134, 2014), así mismo se realizó 01 ensayo de límite de Atterberg para determinar el índice de plasticidad de la muestra del suelo en estado natural M-1, dentro de este ensayo se realizó el análisis y estudio de límite líquido (MTC E-110, 2016) y límite plástico (MTC E-111, 2016) de las cuales se obtuvo el índice de plasticidad, seguidamente se realizó el ensayo para determinar el material que pasa por el tamiz N°200 por el método "A" (NTP 339.132, 2014), del mismo modo se realizaron 05 ensayos de Proctor Modificado (MTC E-115, 2000) para determinar su máxima densidad seca y su humedad natural, las muestras se tomaron de la siguiente manera: 01 ensayo en estado natural de la calicata M-01, 04 ensayos con las muestras por separado de suelo de la calicata M-01, con adición del 1.5% , 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual de vehículos motorizados, del mismo modo se realizará 05 ensayos de CBR (MTC E-132, 2000) pruebas de penetración para determinar su capacidad de resistencia del suelo, las muestras se tomaron de la siguiente manera: 01 ensayos en estado natural de las calicatas M-01, 04 ensayos con las muestras por separado de suelo de la calicata M-01, con adición del 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual de vehículos motorizados, los ensayos se realizaron en el laboratorio de la empresa CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO.

La muestra de suelo M-01, fue empleado para el desarrollo de la presente tesis fueron tratadas con mucho cuidado al momento de su manipulación y traslado, de modo que éstas no se alteren en sus resultados, los estudios se realizaron respetando los parámetros establecidos dentro de la normas y el reglamento que define los procedimientos estandarizados, los ensayos a la muestra de suelo se realizaron en el laboratorio de la empresa CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO, cuyo resultado obtenido de los ensayos en el laboratorio han logrado analizar detalladamente cada una de las características y propiedades de las muestras de suelo obtenida en la calicata con el código M-01.



Figura 19. Ensayos de la muestra M-01 en laboratorio.



Figura 20. Ensayo de la muestra M-01 en laboratorio.



Figura 21. Muestra M-01 mezclado con aceite residual



Figura 22. Muestra M-01 compactado incorporando aceite residual.

### Granulometría ASTM 422 - MTC E 107

En primer orden se llevó a cabo el ensayo de análisis granulométrico por tamizado (ASTM-422, MTC E 107, NTP 339.134-2014), este ensayo determinó cuantitativamente las características físicas de las partículas que compone la muestra de suelo M-01, en estado natural, clasificándolo y separándolo de acuerdo a su tamaño, se emplearon mallas de diferentes dimensiones de modo que estas determinaron el tamaño de las partículas.

**Tabla 25:** Granulometría de la muestra de la calicata M-01 en estado natural.

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |               |
| 3"      | 75.000 |                  |                       |                         |               |
| 2 1/2"  | 63.000 |                  |                       |                         |               |
| 2"      | 50.000 |                  |                       |                         |               |
| 1 1/2"  | 37.500 |                  |                       |                         | 100.0         |
| 1"      | 25.000 | 1019.1           | 5.7                   | 5.7                     | 94.3          |
| 3/4"    | 19.000 | 1758.6           | 9.9                   | 15.6                    | 84.4          |
| 1/2"    | 12.500 | 1843.6           | 10.4                  | 26.0                    | 74.0          |
| 3/8"    | 9.500  | 1785.1           | 10.0                  | 36.0                    | 64.0          |
| 1/4"    | 6.300  |                  |                       |                         |               |
| Nº04    | 4.750  | 3322.2           | 18.7                  | 54.7                    | 45.3          |
| Nº08    | 2.360  |                  |                       |                         |               |
| Nº10    | 2.000  | 125.9            | 9.5                   | 64.2                    | 35.8          |
| Nº16    | 1.190  |                  |                       |                         |               |
| Nº20    | 0.850  | 95.6             | 7.2                   | 71.4                    | 28.6          |
| Nº30    | 0.600  |                  |                       |                         |               |
| Nº40    | 0.425  | 101.3            | 7.6                   | 79.1                    | 20.9          |
| Nº50    | 0.300  |                  |                       |                         |               |
| Nº80    | 0.177  | 75.6             | 5.7                   | 84.8                    | 15.2          |
| Nº100   | 0.150  | 65.4             | 4.9                   | 89.7                    | 10.3          |
| Nº200   | 0.075  | 40.5             | 3.1                   | 92.8                    | 7.2           |
| < Nº200 | FONDO  | 95.8             | 7.2                   | 100.0                   | 0.0           |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 que comprende al análisis granulométrico por tamizado de la muestra de suelo de la cantera M-01, donde se puede observar que el porcentaje de las partículas que se retuvo en el tamiz N°200 es del 92.8%, la cual indica que la muestra cumple con los requerimientos estandarizados en la norma ASTM 422 – MTC 107 y norma NTP 339.132 - 2014, donde indica que el 50% o más se retuvo en el tamiz N°200 para considerarse como grava según su clasificación.

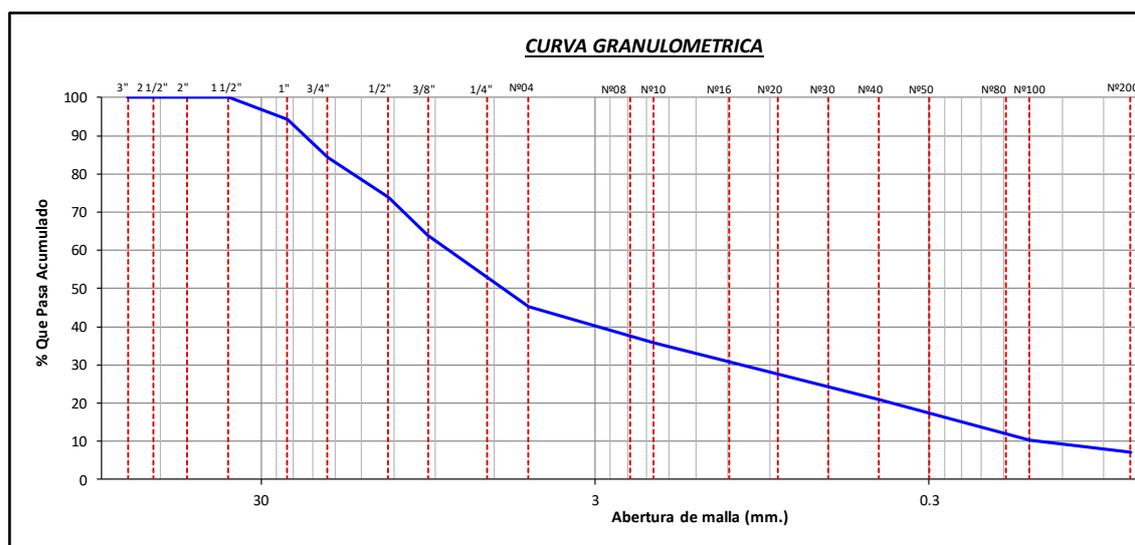


Figura 23: Curva de la granulometría de la muestra de la calicata M-01 en estado natural.

De acuerdo a la estratigrafía de la Fig.23, se observa que por el tamiz 3" y 2" el porcentaje de partículas que pasa es el 100% desde dicho punto como inicio de curvatura, en el tamiz 1" el porcentaje de partículas que pasa es del 94.3%, en el tamiz 3/4" el porcentaje de partículas que pasa es del 84.4%, en el tamiz 3/8" el porcentaje de partículas que pasa es del 64%, en el tamiz N°4 el porcentaje de partículas que pasa es del 45.3%, en el tamiz N°10 el porcentaje de partículas que pasa es del 35.8%, en el tamiz N°40 el porcentaje de partículas que pasa es del 20.9% y en el tamiz N°200 el porcentaje de partículas que pasa es del 7.2%, los requisitos establecidos en las normas ASTM 422, donde indica que el 50% o más se retienen en el tamiz N°200 para considerarse como grava según su clasificación, por lo tanto la muestra M-01 ensayada en laboratorio es suelo granular.

De la muestra de suelo M-01 ensayada en laboratorio se determinó la clasificación de suelo mediante el sistema SUCS (NTP 339.134-2014) y AASHTO (NTP 339.135-2014) la cual como resultado estableció como signo convencional GP-GC

en el sistema de clasificación de SUCS y como resultado estableció como signo convencional A-2-4(0) en el sistema AASHTO, de mismo modo se pudo calcular el contenido de humedad de la muestra M-01 en estado natural, tal como podemos observar en la tabla 26.

**Tabla 26:** Resultado de clasificación SUCS, AASHTO y contenido de humedad de la M-01.

| Muestra | Progresiva  | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO | Contenido de humedad |
|---------|-------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| M -01   | 6 + 700 L/D | GP-GC              | A-2-4 (0)            | 13%                  |

Fuente: Elaboración propia.

### Límite de Atterberg ASTM 4318

Se realizó a la muestra de suelo M-01 los ensayos de Límites de ATTERBERG (ASTM D4318, MTC E 1090 - 2000), para poder determinar el Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de plasticidad, estos resultados obtenidos en el ensayo es de gran importancia para poder determinar la clasificación del suelo en estudio, de modo que, se pueda determinar y conocer sus características físicas y mecánicas para poderlas mejorar, en la tabla 27 se observa los resultados del ensayo de límites de Atterberg, el resultado de la muestra ensayada determino que el límite liquido de la muestra M-01 es de 29%, el límite plástico es del 19% de modo que la diferencia de ambas nos dio como resultado que el índice de plasticidad es 10% por lo que corresponde según la clasificación de suelos un suelo arcilloso que está en el rango de  $20 > IP > 10$  determinado con una plasticidad media.

**Tabla 27:** Resultado de limite líquido, limite plástico y índice de plasticidad de M-01.

| Muestra | Progresiva  | Limite Liquido (LL) | Limite Plástico (LP) | Índice de Plasticidad (IP) |
|---------|-------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| M -01   | 6 + 700 L/D | 29%                 | 19%                  | 10%                        |

Fuente: Elaboración propia.

### Proctor modificado ASTM D 1557

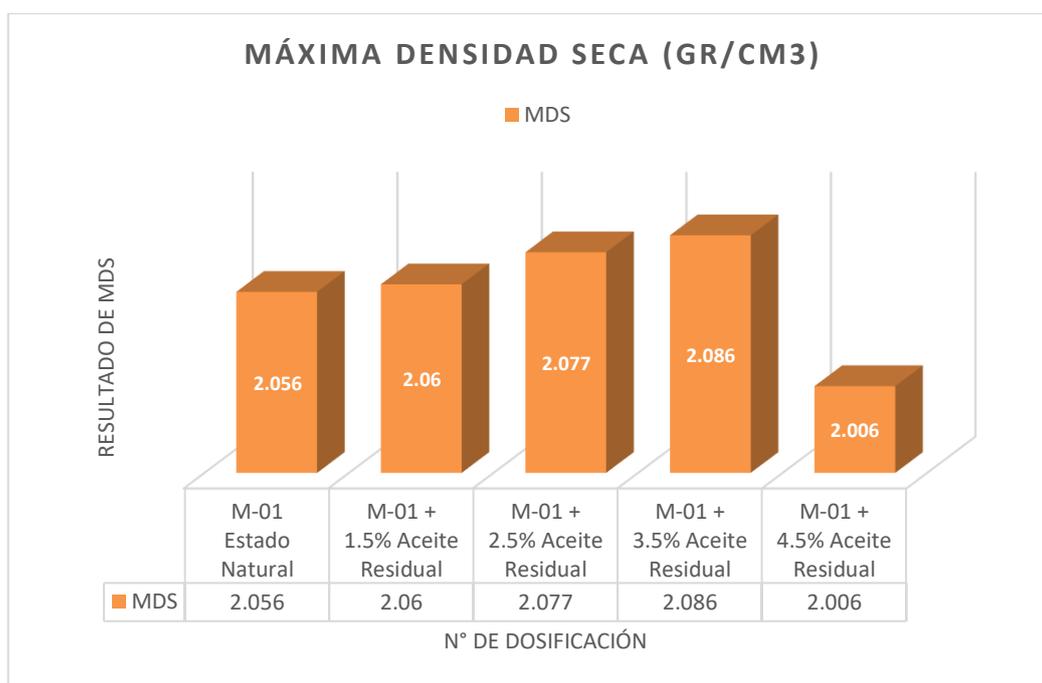
Para realizar el ensayo de Proctor Modificado se tuvo como referencia emplear el método "A", a través del método mencionado se determinó el contenido de

humedad con relación a su densidad seca donde se pudo determinar la curva de compactación, para tener en cuenta como primer paso es importante conocer el peso específico de la muestra M-01 en estado natural, con adición de aceite residual al 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, de modo que se pueda conocer objetivamente el contenido de humedad óptimo y la densidad máxima seca.

**Tabla 28:** Resultado de compactación con energía modificada - Proctor Modificado M-01.

| Muestra | Identificación                     | Humedad Optima | Densidad Máxima Seca (grs/cm3) |
|---------|------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| M – 01  | Estado natural                     | 8.64%          | 2.056                          |
| M – 01  | 1.5% de adición de aceite residual | 8.58%          | 2.060                          |
| M – 01  | 2.5% de adición de aceite residual | 8.50%          | 2.077                          |
| M – 01  | 3.5% de adición de aceite residual | 8.13%          | 2.086                          |
| M – 01  | 4.5% de adición de aceite residual | 7.79%          | 2.006                          |

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 24:** Diagramas de los resultados obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado con respecto a la Máxima Densidad Seca.



Figura 25: Curva en relación del contenido de aceite residual y Máxima Densidad Seca.

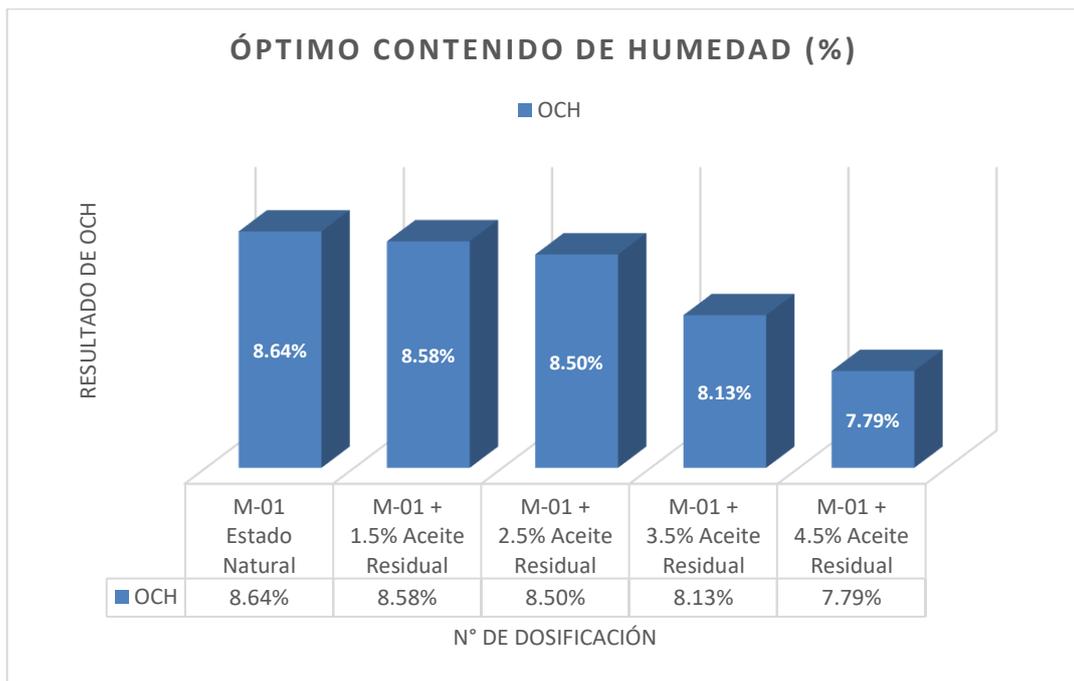
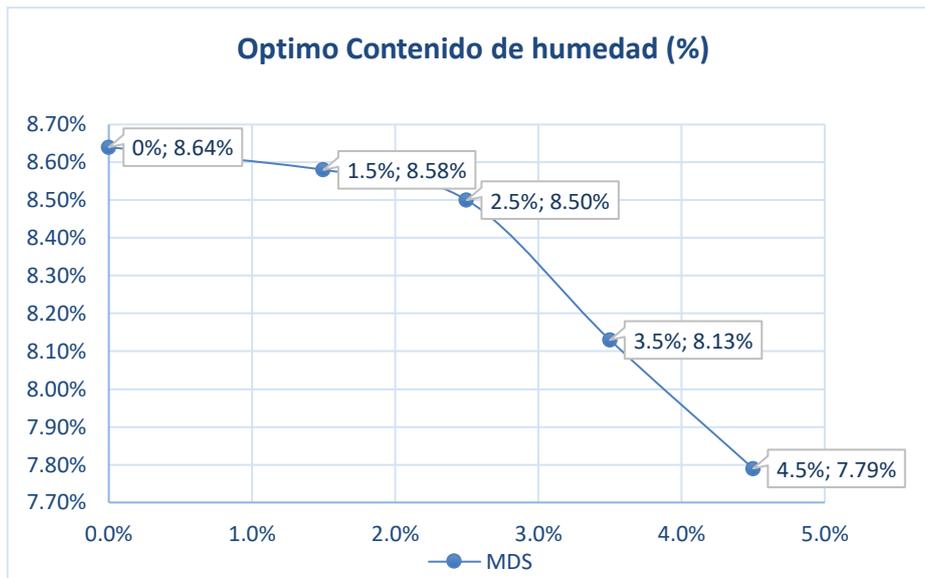


Figura 26: Diagramas de los resultados obtenidos del Ensayo de Proctor Modificado con respecto a Optimo Contenido de Humedad.



*Figura 27:* Curva en relación del contenido de aceite residual y Optimo Contenido de Humedad.

En la tabla 28 se observa los resultados del Proctor Modificado ensayado a la muestra de suelo M-01 en estado natural, de la cual se determinó que el óptimo contenido de humedad para dicha muestra es de 8.64% en relación a su densidad máxima seca que es de 2.056grs/cm<sup>3</sup>, del mismo modo se observa el resultado de la combinación de la muestra de suelo M-01 más la adición del 1.5% de aceite residual su optimo contenido de humedad es 8.58%, en relación a su densidad máxima seca que es de 2.060grs/cm<sup>3</sup>, del mismo modo se observa el resultado de la combinación de la muestra de suelo M-01 más la adición del 2.5% de aceite residual su optimo contenido de humedad es 8.50%, en relación a su densidad máxima seca que es de 2.077grs/cm<sup>3</sup>, del mismo modo se observa el resultado de la combinación de la muestra de suelo M-01 más la adición del 3.5 % de aceite residual, su optimo contenido de humedad es 8.13%, en relación a su máxima densidad seca es de 2.086grs/cm<sup>3</sup>, del mismo modo se observa el resultado de la combinación de la muestra de suelo M-01 más la adición del 4.5% de aceite residual, su optimo contenido de humedad es 7.79%, en relación a su máxima densidad seca es de 2.006grs/cm<sup>3</sup>, de la cual se puede definir que es un suelo de mediana plasticidad por lo que retienen mayor humedad.

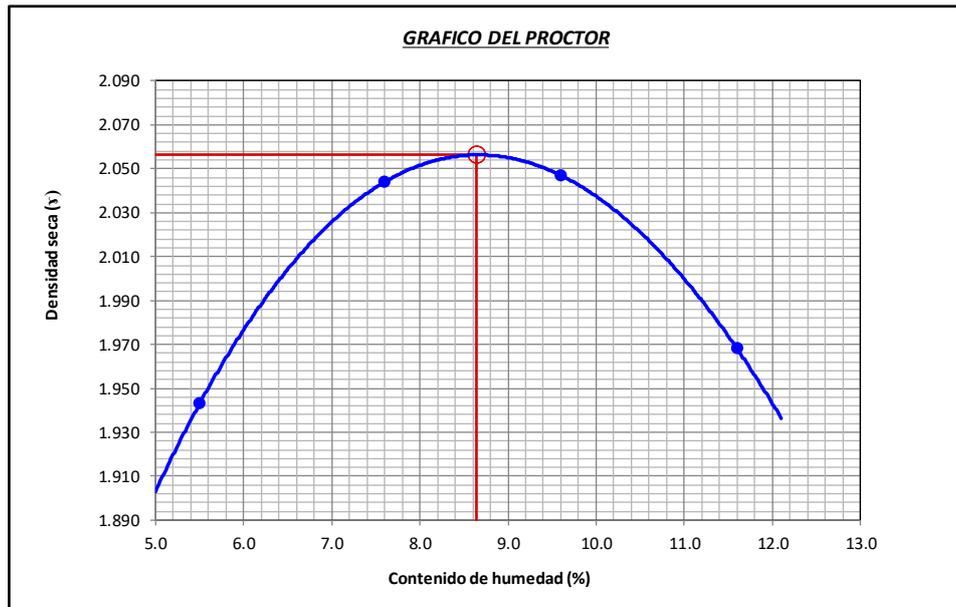


Figura 28: Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima del suelo natural.

En la estratigrafía 28 se observa la curva de contenido de humedad óptimo en relación a su máxima densidad seca de la muestra de **suelo M-01 en estado natural** sin adición de ningún aditivo donde se observa que el contenido de humedad óptima es de 8.64% y la máxima densidad seca es de 2.056gr/cm<sup>3</sup>.

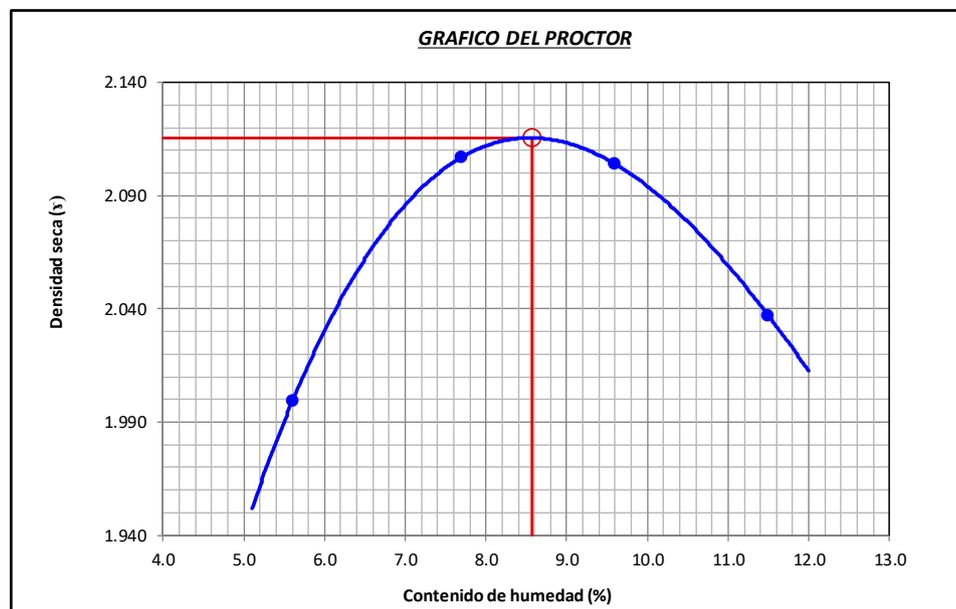


Figura 29: Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 1.5% de aceite residual.

En la estratigrafía 29 se observa la curva de contenido de humedad óptimo en relación a su máxima densidad seca de la muestra de suelo M-01 con adición del

2.5% de aceite residual, donde se observa que el contenido de humedad optima es de 8.58% y la máxima densidad seca es de 2.060gr/cm<sup>3</sup>.

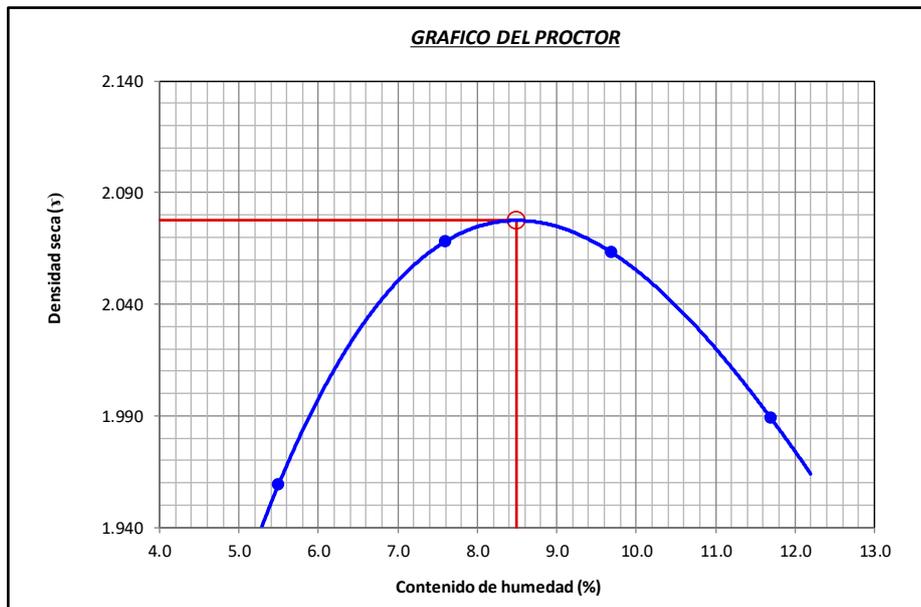


Figura 30: Diagrama relación optimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 2.5% de aceite residual.

En la estratigrafía 30 se observa la curva de contenido de humedad optimo en relación a su máxima densidad seca de la muestra de suelo M-01 con adición del 2.5 % de aceite residual, donde se observa que el contenido de humedad optima es de 8.50% y la máxima densidad seca es de 2.077gr/cm<sup>3</sup>.

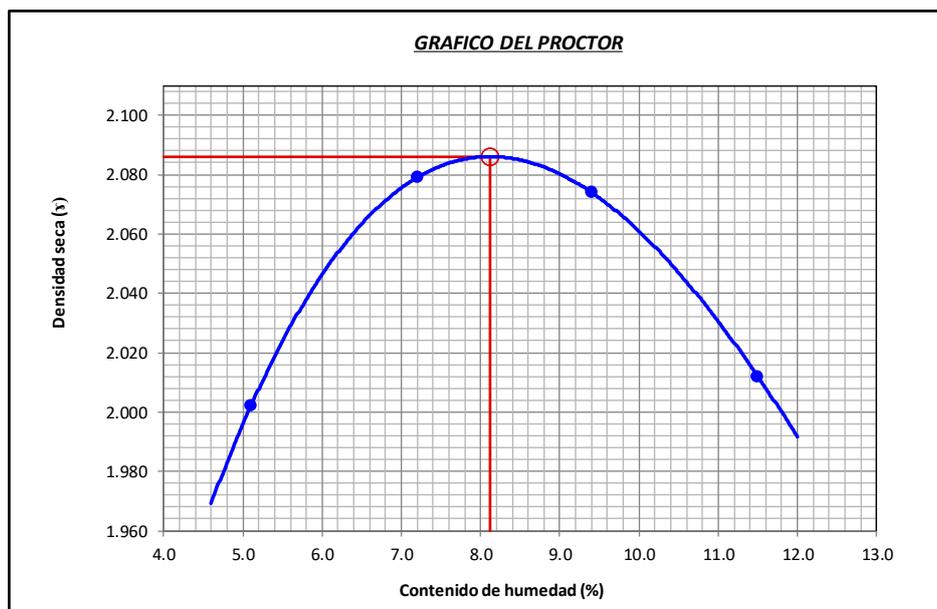


Figura 31: Diagrama relación optimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 3.5% de aceite residual.

En la estratigrafía 31 se observa la curva de contenido de humedad óptimo en relación a su máxima densidad seca de la muestra de suelo M-01 con adición del 3.5% de aceite residual, donde se observa que el contenido de humedad óptima es de 8.13% y la máxima densidad seca es de 2.086gr/cm<sup>3</sup>.

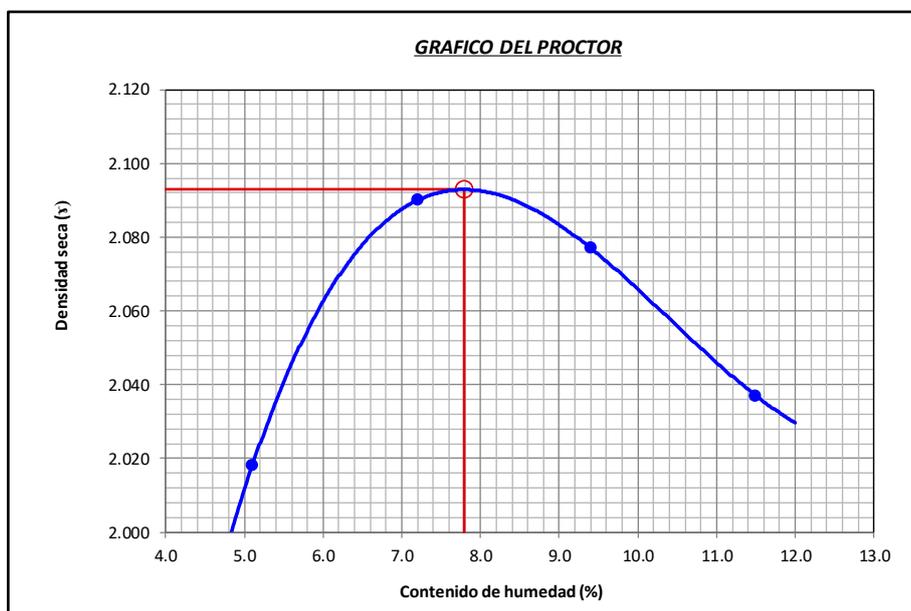


Figura 32: Diagrama relación óptimo contenido de humedad – densidad máxima seca de la muestra M-01 + 4.5% de aceite residual.

En la estratigrafía 32 se observa la curva de contenido de humedad óptimo en relación a su máxima densidad seca de la muestra de suelo M-01 con adición del 4.5% de aceite residual, donde se observa que el contenido de humedad óptima es de 7.79% y la máxima densidad seca es de 2.006gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 29:** Cuadro comparativo de resultado de Proctor Modificado de la muestra M-01 + dosificaciones de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% aceite residual.

| Condición de la muestra                   | Humedad Óptima | Densidad Máxima Seca (grs/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| M-01 Estado Natural                       | 8.64%          | 2.056                                       |
| M-01 + 1.5% de adición de aceite residual | 8.58%          | 2.060                                       |
| M-01 + 2.5% de adición de aceite residual | 8.50%          | 2.077                                       |
| M-01 + 3.5% de adición de aceite residual | 8.13%          | 2.086                                       |
| M-01 + 4.5% de adición de aceite residual | 7.79%          | 2.006                                       |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 se observa los resultados de compactación con energía modificada - Proctor Modificado los valores que se muestra con respecto al óptimo contenido

de humedad en relación a la máxima densidad seca de la muestra de suelo M-01, el comportamiento varia favorablemente de acuerdo a las combinaciones de la muestra con respecto a la adición de aceite residual en porcentajes del 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, en la muestra de suelo M-01 en estado natural el ensayo del proctor determino valores de su optimo contenido de humedad de 8.64% con relación a su densidad máxima seca de 2.056grs/cm<sup>3</sup>, en la dosificación M-01 + 1.5% de adición de aceite residual el ensayo del Proctor determino valores de su optimo contenido de humedad de 8.58% con relación a su densidad máxima seca de 2.060grs/cm<sup>3</sup>, en la dosificación M-01 + 2.5% de adición de aceite residual el ensayo del Proctor determino valores de su optimo contenido de humedad de 8.50% con relación a su densidad máxima seca de 2.077grs/cm<sup>3</sup>, en la dosificación M-01 + 3.5% de adición de aceite residual el ensayo del Proctor determino valores de su optimo contenido de humedad de 8.13% con relación a su densidad máxima seca de 2.086grs/cm<sup>3</sup> y en la dosificación M-01 + 4.5% de adición de aceite residual el ensayo del Proctor determino valores de su optimo contenido de humedad de 7.79% con relación a su densidad máxima seca de 2.006grs/cm<sup>3</sup>.

### **California Baring Ratio (CBR) ASTM D 1883**

#### **M-01 Estado Natural**

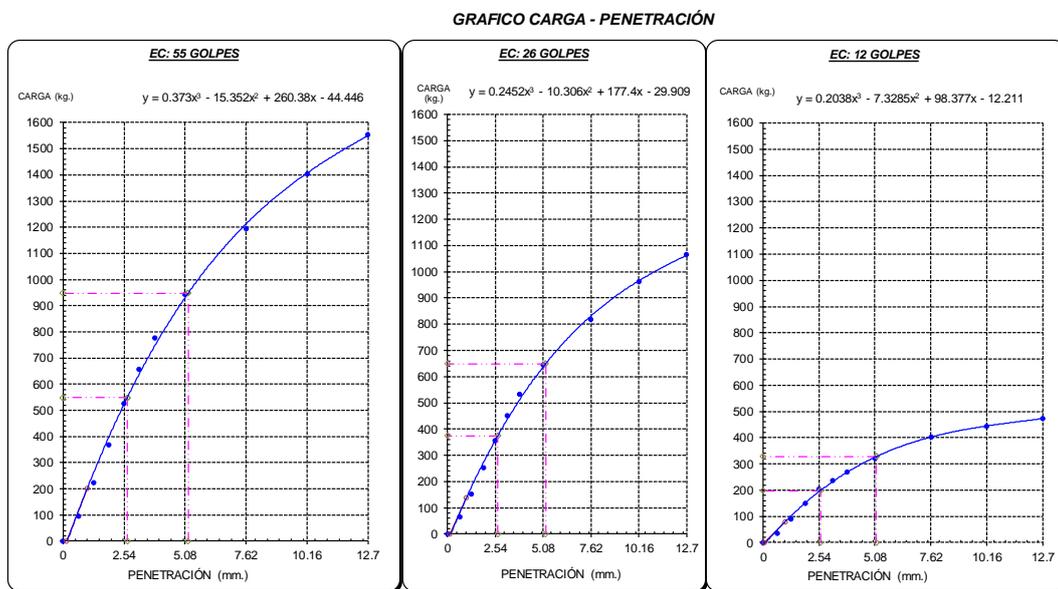
Del ensayo que se realizó a la muestra de suelo M-01, el ensayo de CBR es el más importante, ya que este ensayo determina la capacidad portante del suelo para ser empleada como sub rasante en el diseño de carreteras, se realizó el ensayo de CBR a la muestra M-01 en estado natural, para poder determinar su capacidad portante patrón de la muestra, se tuvo que realizar 03 especímenes cada una sometidas a diferentes energías en relación con el número de golpes, el espécimen N°01 se realizó con una energía de 27.7 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), el espécimen N°02 se realizó con una energía de 12.2 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes), el espécimen N°03 se realizó con una energía de 6.1 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes) y para los tres empecines una sobre carga de 4.53 kg tal como se observa en la figura 33.

**Tabla 30:** Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 en estado natural.

| Muestra | Estado de la muestra | Penetración | CBR al 100% | CBR al 95% |
|---------|----------------------|-------------|-------------|------------|
| M-01    | Suelo Natural        | 0.1"        | 40.20%      | 27.60%     |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 30 se observa el resultado de la muestra M-01 en estado natural, el ensayo CBR al 100% determino 40.2% de CBR para una penetración de 0.1", así mismo se observa que el ensayo de CBR al 95% determino 27.6% de CBR para una penetración de 0.1", por lo que se define que la muestra de suelo granular en estado natural es considerada muy buena para su uso como sub rasante, tal como lo establece el manual de carretas –MTC, que establece que  $CBR \geq 30\%$  es igual a sub rasante excelente como se observa en la tabla 4.



**Figura 33:** Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 en estado natural.

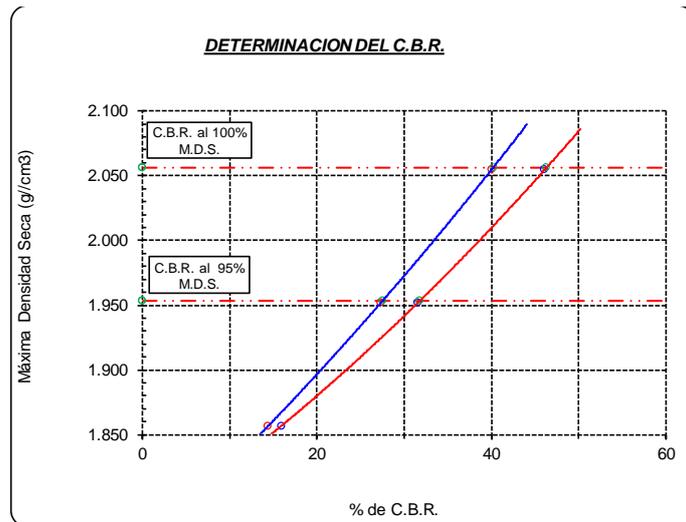


Figura 34: Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 en estado natural.

En la estratigrafía 34 se observa la curva grafica de la relación de CBR con respecto a la densidad seca, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es de 2.056g/cm<sup>3</sup>, el CBR es de 40.2% para una penetración de 0.1", por lo que estos valores determinan una sub rasante excelente.

#### M-01 Estado Natural + 1.5% Aceite Residual

Se realizó el ensayo de CBR a la muestra M-01 con adición de 1.5% de aceite residual, para poder determinar su capacidad portante patrón de la muestra se tuvo que realizar 03 especímenes cada una sometidas a diferentes energías en relación con el número de golpes, el espécimen N°01 se realizó con una energía de 27.7 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), el espécimen N° 02 se realizó con una energía de 12.2 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes), el espécimen N°03 se realizó con una energía de 6.1 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes) y para los tres empecines una sobre carga de 4.53 kg tal como se observa en la figura 35.

**Tabla 31:** Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 1.5% de aceite residual.

| Muestra | Estado de la muestra        | Penetración | CBR al 100% | CBR al 95% |
|---------|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| M-01    | M-01 + 1.5% aceite residual | 0.1"        | 55.50%      | 34.00%     |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 31 se observa el resultado de la muestra M-01 con adición de 1.5% de aceite residual, el ensayo de CBR al 100% determino 55.5% de CBR para una penetración de 0.1", así mismo se observa que el ensayo de CBR al 95% determino

34.0% de CBR para una penetración de 0.1”, por lo que se define que la muestra de suelo granular es considerada muy buena respectivamente, para su uso como sub rasante, tal como lo establece el manual de carretas –MTC, que establece que el  $CBR \geq 30\%$  es igual a una sub rasante excelente y/o muy buena respectivamente.

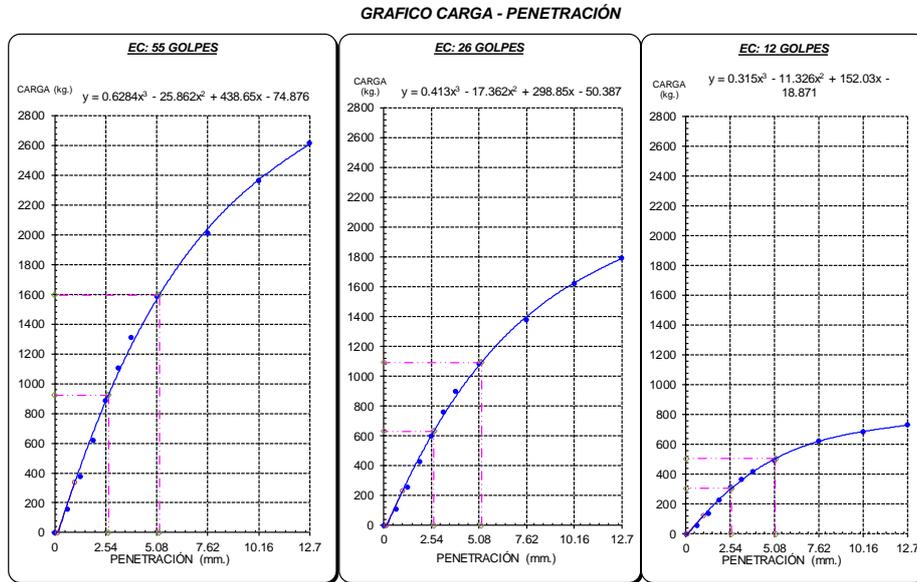


Figura 35: Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 1.5% aceite residual.

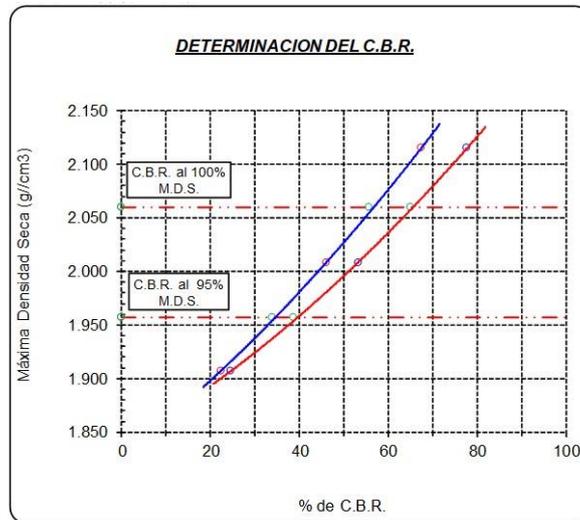


Figura 36: Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01+1.5% aceite residual.

### M-01 Estado Natural + 2.5% Aceite Residual

Se realizó el ensayo de CBR a la muestra M-01 con adición de 2.5% de aceite residual, para poder determinar su capacidad portante de la muestra, se tuvo que realizar 03 especímenes cada una sometidas a diferentes energías en relación con el número de golpes, el espécimen N°01 se realizó con una energía de 27.7

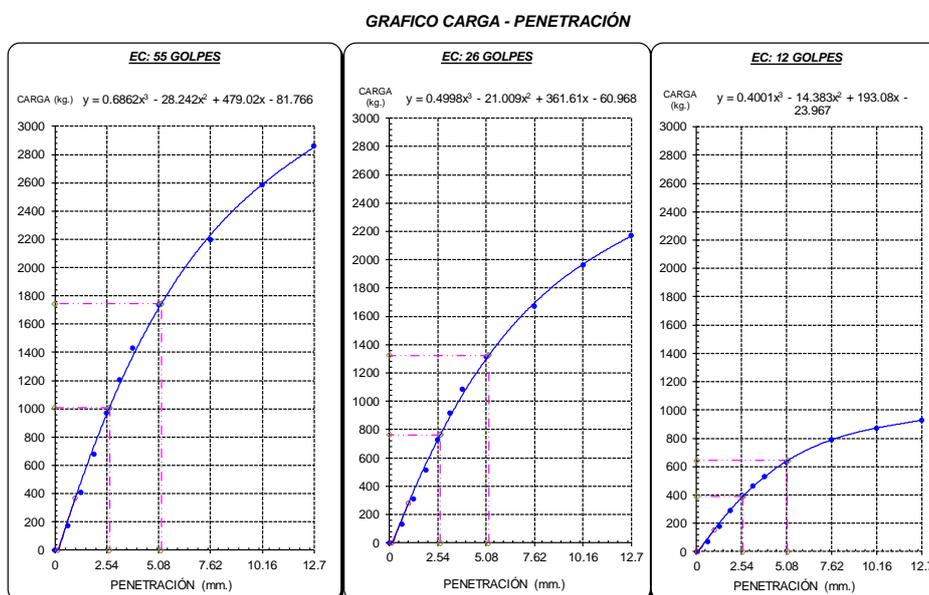
Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), el espécimen N°02 se realizó con una energía de 12.2 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes), el espécimen N°03 se realizó con una energía de 6.1 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes) y para los tres empecines una sobre carga de 4.53 kg tal como se observa en la figura 37.

**Tabla 32:** Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 2.5 % de aceite residual.

| Muestra | Estado de la muestra        | Penetración | CBR al 100% | CBR al 95% |
|---------|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| M – 01  | M-01 + 2.5% aceite residual | 0.1"        | 74.40%      | 54.40%     |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 se observa el resultado de la muestra M-01 con adición de 2.5% de aceite residual, el ensayo de CBR al 100% determino 74.40% de CBR, respectivamente para una penetración de 0.1", así mismo se observa que el ensayo de CBR al 95% determino 54.40% de CBR para una penetración de 0.1", por lo que se define que la muestra de suelo granular es considerada muy buena respectivamente para su uso como sub rasante, tal como lo establece el manual de carretas – MTC, que establece que el CBR≥30% es igual a una sub rasante excelente respectivamente, como se observa en la tabla 4.



**Figura 37:** Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 2.5% aceite residual.

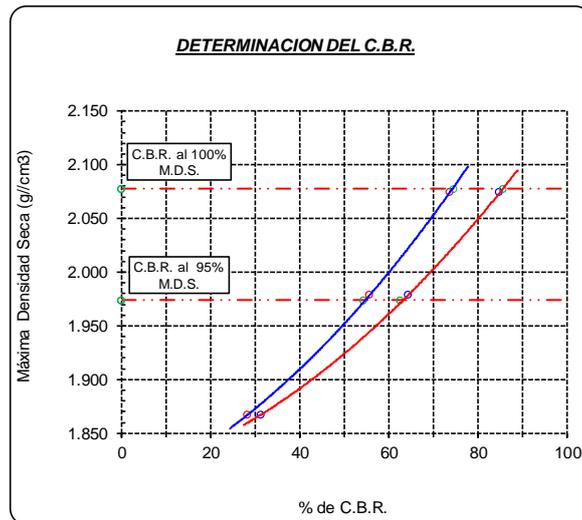


Figura 38: Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01+2.5% aceite residual.

En la estratigrafía 38 se observa la curva grafica de la relación de CBR con respecto a la densidad seca, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es de 2.077g/cm<sup>3</sup>, el CBR es de 74.4% para una penetración de 0.1", por lo que estos valores determinan una sub rasante excelente respectivamente.

#### M-01 Estado Natural + 3.5% Aceite Residual

Se realizó el ensayo de CBR a la muestra M-01 con adición de 3.5% de aceite residual, para poder determinar su capacidad portante de la muestra se tuvo que realizar 03 especímenes cada una sometidas a diferentes energías en relación con el número de golpes, el espécimen N°01 se realizó con una energía de 27.7 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), el espécimen N°02 se realizó con una energía de 12.2 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes), el espécimen N°03 se realizó con una energía de 6.1 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes) y para los tres empecines una sobre carga de 4.53 kg tal como se observa en la figura 39.

**Tabla 33:** Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 3.5% de aceite residual.

| Muestra | Estado de la muestra        | Penetración | CBR al 100% | CBR al 95% |
|---------|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| M – 01  | M-01 + 3.5% aceite residual | 0.1"        | 83.50%      | 63.50%     |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 33 se observa el resultado de la muestra M-01 con adición de 3.5% de aceite residual, el ensayo de CBR al 100% determino 83.50% y CBR al 95% determino 63.50%, para una penetración de 0.1", por lo que se define que la

muestra de suelo arcilloso es considerada muy buena para su uso como sub rasante, tal como lo establece el manual de carretas –MTC, que establece que el  $CBR \geq 30\%$ , es igual a una sub rasante excelente respectivamente.

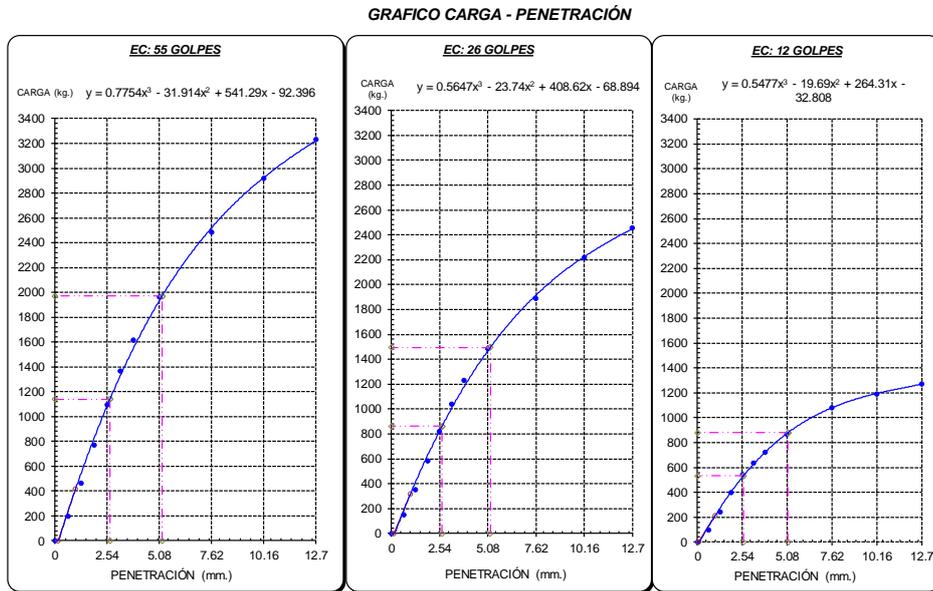


Figura 39: Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 3.5% aceite residual.

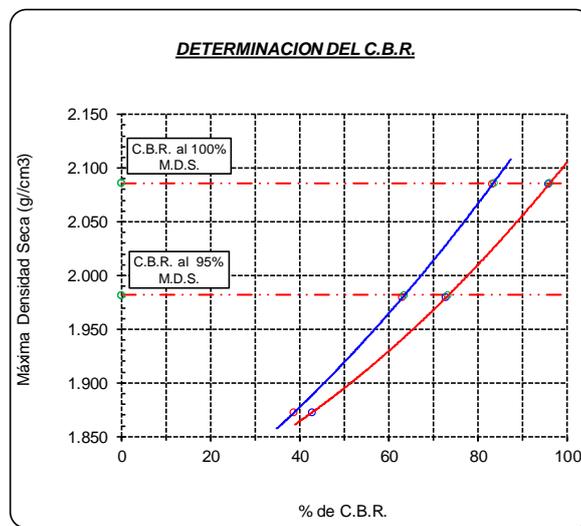


Figura 40: Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 + 3.5% aceite residual.

En la estratigrafía 40 se observa la curva grafica de la relación de CBR con respecto a la densidad seca para el aceite residual, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es de 2.086g/cm<sup>3</sup>, el CBR es de 83.5% para una penetración de 0.1", por lo que estos valores determinan una sub rasante excelente.

### M-01 Estado Natural + 4.5% Aceite Residual

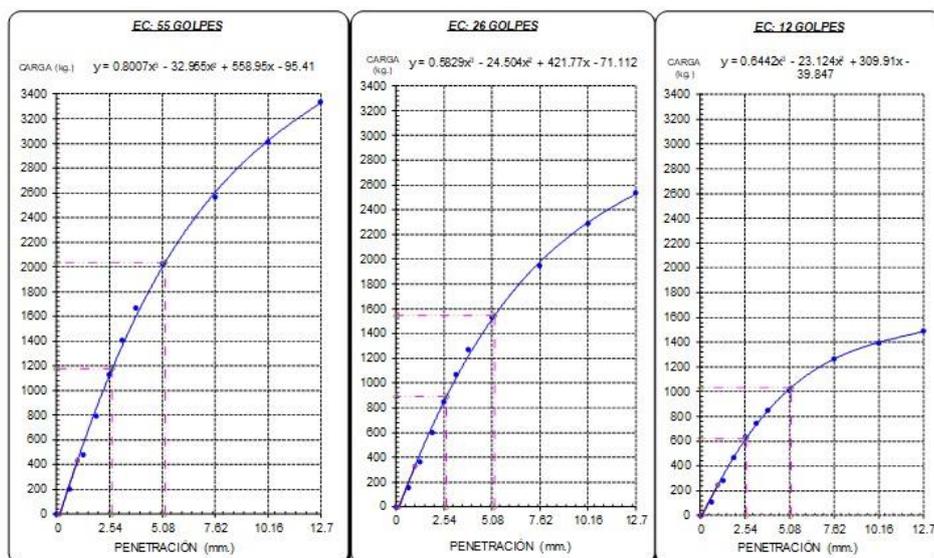
Se realizó el ensayo de CBR a la muestra M-01 con adición de 4.5% de aceite residual, para poder determinar su capacidad portante de la muestra se tuvo que realizar 03 especímenes cada una sometidas a diferentes energías en relación con el número de golpes, el espécimen N°01 se realizó con una energía de 27.7 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), el espécimen N°02 se realizó con una energía de 12.2 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes), el espécimen N°03 se realizó con una energía de 6.1 Kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes) y para los tres empecines una sobre carga de 4.53 kg tal como se observa en la figura 41.

**Tabla 34:** Resultado de ensayo de CBR de la muestra M-01 + 4.5% de aceite residual.

| Muestra | Estado de la muestra        | Penetración | CBR al 100% | CBR al 95% |
|---------|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| M – 01  | M-01 + 4.5% aceite residual | 0.1"        | 69.40%      | 49.90%     |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 34 se observa el resultado de la muestra M-01 con adición de 4.5% de aceite residual, el ensayo de CBR al 100% determino 69.40% y CBR al 95% determino 49.90%, para una penetración de 0.1", por lo que se define que la muestra de suelo arcilloso es considerada muy buena para su uso como sub rasante, tal como lo establece el manual de carretas –MTC, que establece que el  $CBR \geq 30\%$ , es igual a una sub rasante excelente respectivamente.



**Figura 41:** Diagrama de ensayo de CBR de los tres especímenes ensayadas a la muestra M-01 + 4.5% aceite residual.

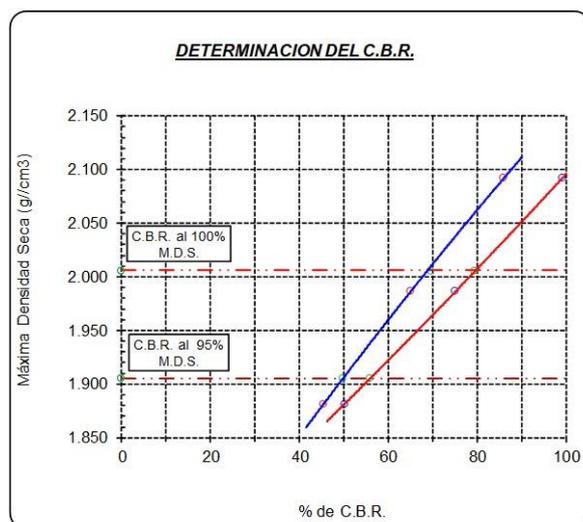


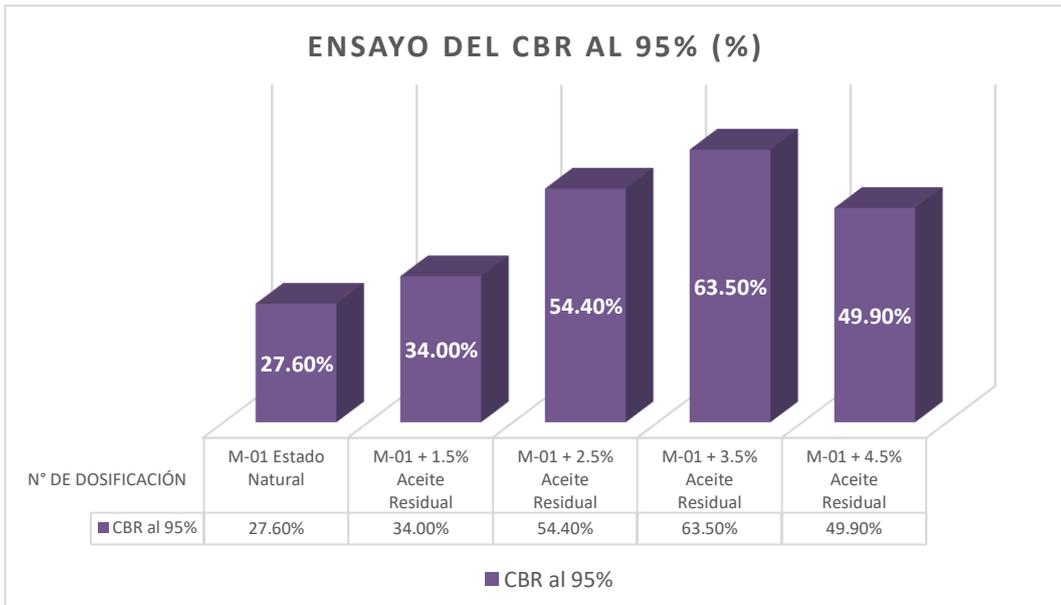
Figura 42: Diagrama de ensayo de CBR de muestra M-01 + 4.5% aceite residual.

En la estratigrafía 42 se observa la curva grafica de la relación de CBR con respecto a la densidad seca para el aceite residual, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es de 2.006g/cm<sup>3</sup>, el CBR es de 69.40% para una penetración de 0.1", por lo que estos valores determinan una sub rasante excelente.

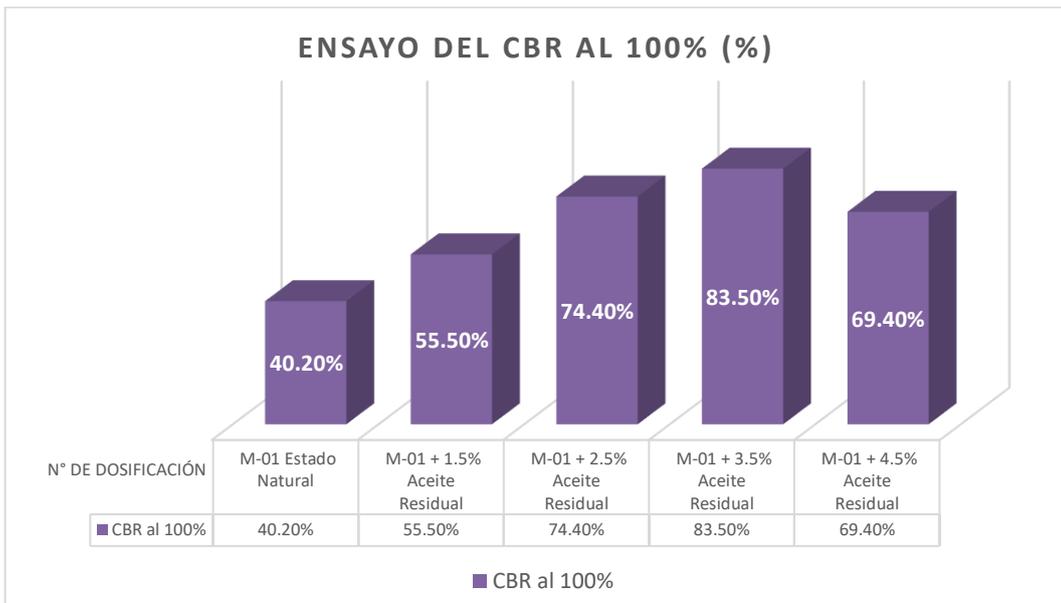
**Tabla 35:** Cuadro comparativo de resultado de CBR de la muestra M-01 + dosificaciones de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual.

| Ensayo de CBR                             | CBR al 100 %     | CBR al 95 %      |
|-------------------------------------------|------------------|------------------|
| Condición de la muestra                   | Penetración 0.1" | Penetración 0.1" |
| M-01 Estado Natural                       | 40.20%           | 27.60%           |
| M-01 + 1.5% de adición de aceite residual | 55.50%           | 34.00%           |
| M-01 + 2.5% de adición de aceite residual | 74.40%           | 54.40%           |
| M-01 + 3.5% de adición de aceite residual | 83.50%           | 63.50%           |
| M-01 + 4.5% de adición de aceite residual | 69.40%           | 49.90%           |

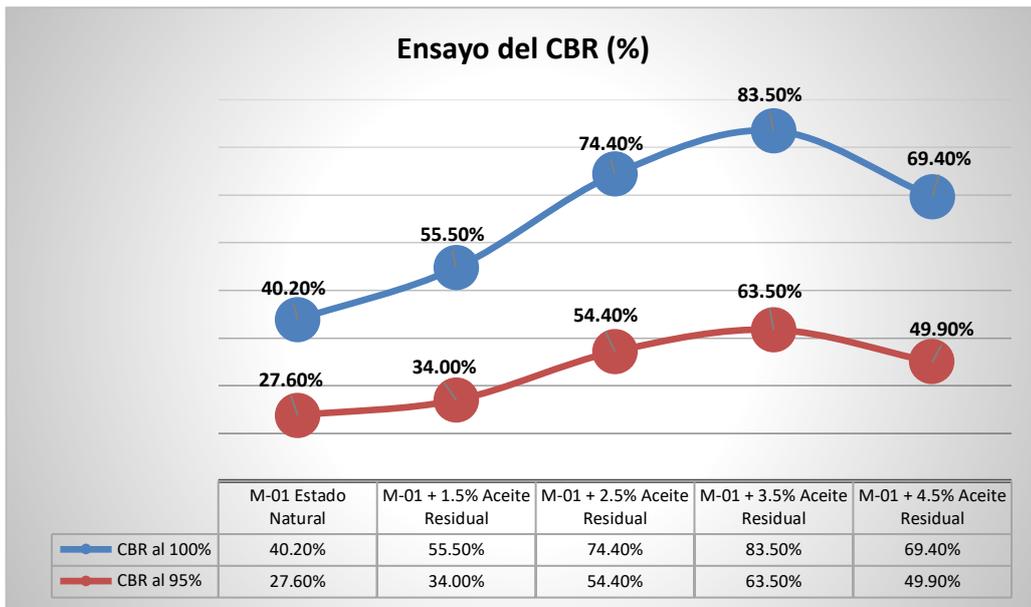
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 43:* Diagrama resultados del ensayo de CBR al 95%.



*Figura 44:* Diagrama resultados del ensayo de CBR al 100%.



*Figura 45.* Curva en relación del contenido de aceite residual entre CBR.

En la tabla 35 se observa los resultados de ensayo de CBR los valores que se muestra están en relación a la dimensión de penetración con el porcentaje de CBR, el comportamiento varia favorablemente de acuerdo a las combinaciones de la muestra con respecto a la adición de aceite residual en porcentajes del 1.5%, 2.5% y 3.5%, mientras al adicionar el 4.5% empieza a disminuir considerablemente la resistencia del suelo, en la muestra de suelo M-01 en estado natural el ensayo de CBR al 100% y 95% con penetración de 0.1” dio valor 42.20% y 27.60% respectivamente de CBR, en la dosificación M-01 + 1.5% de adición de aceite residual el ensayo de CBR al 100% y 95% con penetración de 0.1” dio valor 55.50% y 34.00% respectivamente de CBR, en la dosificación M-01 + 2.5% de adición de aceite residual el ensayo de CBR al 100% y 95% con penetración de 0.1” dio valor 74.40% y 54.40% respectivamente de CBR, en la dosificación M-01 + 3.5% de adición de aceite residual el ensayo de CBR al 100% y 95% con penetración de 0.1” dio valor 83.50% y 63.50% respectivamente de CBR, en la dosificación M-01 + 4.5% de adición de aceite residual el ensayo de CBR al 100% y 95% con penetración de 0.1” dio valor 69.40% y 49.90% respectivamente de CBR.

### **Contrastación de hipótesis**

Con los resultados obtenidos en laboratorio de suelos de la empresa CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO y representadas en las figuras de estos, se aprueba la hipótesis que la adición del aceite residual, influyen en las propiedades de la sub

rasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021, el porcentaje de adición más óptimo para el mejoramiento de las propiedades de los suelos granulares es del 3.5% de aceite residual respectivamente.

Con las figuras elaboradas sustentadas en base a los resultados obtenidos en laboratorio, con respecto a las propiedades del suelo granular, se comprueba que el aceite residual, influyen de manera positiva en las propiedades del suelo arcilloso para uso como sub rasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.

Por medio del ensayo de Proctor Modificado se obtuvo resultados, los cuales se representaron en figuras, de estos, se afirma la hipótesis que la adición de aceite residual influye de manera efectiva en el mejoramiento de la densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de suelos granulares para uso como sub rasante en la carretera Perka Platería, Puno 2021, el porcentaje de combinación más óptimo para el mejoramiento efectiva en el mejoramiento de la densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos es del 3.5% de aceite residual respectivamente.

Por medio del ensayo de CBR se obtuvo resultados, los cuales se representaron en figuras de estos, se afirma la hipótesis que la adición de aceite residual influye de manera efectiva en el mejoramiento de la resistencia de suelos granulares para uso como sub rasante carretera Platería Perka, Puno – 2021, el porcentaje de combinación más óptimo para el mejoramiento efectivo de la resistencia de los suelos arcillosos es del 3.5% de aceite residual respectivamente.

## V. DISCUSIÓN

Luego de haber descrito los resultados de la investigación experimental referente a la incorporación de aceite residual de vehículo motorizados en la subrasante de la carretera Platería Perka, sobre la base de un exhaustivo proceso investigativo de los resultados de los ensayos de laboratorio y la interpretación de los antecedentes tomados, el presente capítulo comprende la discusión de los hallazgos y observaciones, la cual mantendrá el mismo orden en el que fueron planteado las hipótesis líneas arriba.

### **OG. Determinar cómo influye el aceite residual en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.**

Guevara (2017) en su tesis titulada *“Estabilización de suelos con adición de residuos compatibles para la construcción de vías de la ciudad de Juliaca”*, el autor busca mejorar las características geotécnicas de los suelos de las canteras, con la incorporación de desechos aceites de vehículos, para su empleo en la construcción de carreteras de la ciudad de Juliaca, los cuales se incorporaron en 1%, 1.5%, 2% y 2.5%, recomendando utilizar un 2% de aceite residual para estabilizar un suelo SM (arena limosa) debido a que aumenta su CBR y MDS, así mismo disminuye su OCH.

En tanto que en la presente investigación experimental en contraste con el autor se incorporó en proporciones de 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual de vehículos motorizados y aplicados en la sub rasante de la carretera de Platería Perka; los cuales en base a los resultados reflejaron mejoras en las propiedades geotécnicas del suelo granular utilizado, con lo que se determina que el aceite residual contribuye a la mejoría de las propiedades mecánicas de los suelos granulares.

En la presente investigación los resultados coinciden con Guevara (2017), sin embargo, poseen resultados con valores distintos esto se debió al tipo de suelo de las que están compuestas las muestras, Por tanto, realizando una comparación podemos decir que los resultados tienen coincidencias, sin embargo, poseen resultados con valores distintos esto se debió al tipo de suelo de la que están compuestas las muestras de cada autor que poseen diferentes propiedades.

## **O1. Determinar la influencia del aceite residual en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería – Perka, Puno 2021.**

Guevara (2017) en su tesis titulada *“Estabilización de suelos con adición de residuos compatibles para la construcción de vías de la ciudad de Juliaca”*, el autor busca mejorar las características geotécnicas de los suelos granulares, en un suelo tipo SM (arena limosa) según la clasificación SUCS, presentó una MDS de 1.87g/cm<sup>3</sup> y adicionando el aceite usado, tras su incorporación en diferentes porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, y 2.5%, con la incorporación al 2% de aceite usado de vehículos motorizados se ha mejorado en la compactación, tiene una mejora de 1.87gr/cm<sup>3</sup> a 2.19gr/cm<sup>3</sup>.

Por tanto, realizando una comparación de resultados del ensayo de Proctor Modificado, podemos decir que discrepan, puesto que, en la presente investigación en un suelo GP-GC (grava pobremente gradada con arcilla y arena) y A-2-4(0) según la clasificación SUCS y AASHTO respectivamente, su MDS fue 2.056 g/cm<sup>3</sup>, obtenido de la muestra M-01, y al adicionar 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual, sin embargo esta se incrementa hasta 3.5% de aceite residual a 2.086g/cm<sup>3</sup> respectivamente, en ese sentido se pueden afirmar que se pudo determinar que la adición de aceite residual mejora la máxima densidad seca con relación a su óptimo contenido de humedad, finalizando que favorece a la compactación.

## **O2. Determinar la influencia del aceite residual en contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.**

Guevara (2017) en su tesis titulada *“Estabilización de suelos con adición de residuos compatibles para la construcción de vías de la ciudad de Juliaca”*, el autor busca mejorar las características geotécnicas de los suelos granulares, en un suelo tipo SM (arena limosa) según la clasificación SUCS, presentó un OCH de 8.36%, adicionando el aceite usado en diferentes porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, y 2.5%, disminuyó en OCH de 8.36% a 7.15%.

De los resultados obtenidos en la presente investigación tienen coincidencias, al incrementar el aceite residual disminuye el OCH, desde 8.64% al 0% de aceite

hasta 8.26% al 4.5% de aceite residual. Esto se debe a que el aceite residual toma los espacios vacíos del suelo que anteriormente estaba ocupado por agua.

### **O3. Determinar la influencia del aceite residual en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.**

Guevara (2017) en su tesis titulada *“Estabilización de suelos con adición de residuos compatibles para la construcción de vías de la ciudad de Juliaca”*, para establecer la severidad mecánica de un material para sub rasante tras la incorporación del aceite residual, en un suelo SM (arena limosa), obtuvo un CBR de 35.00%, y al adicionar 1%, 1.5%, 2% aumenta al 39% y para 2.5% disminuye considerablemente.

Por tanto, realizando una comparación de resultados del ensayo CBR, podemos decir tiene coincidencias con Guevara (2017), donde la adición de aceite residual debe ser en menores porcentajes, de tal manera que el valor CBR del suelo natural incrementa positivamente, puesto que, a mayor incremento de aceite sufre una caída disminuye considerablemente, el CBR fue 40.20% al 100% de MDS y a una penetración de 1”, obtenido de la muestra M-01, y al adicionar 1.5%, 2.5% y 3.5% de aceite residual, esta se incrementa de 40.20% hasta 83.50%, y disminuye para la adición del 4.5% de aceite al 69.40% respectivamente, en ese sentido se pueden afirmar que la adición de aceite residual el CBR, finalizando que favorece a la resistencia de la subrasante.

Por tanto, realizando una comparación de resultados del ensayo de CBR entre ambas investigaciones podemos decir los resultados tienen coincidencias, respecto a la adición del aceite residual, sin embargo, poseen resultados con valores distintos, en ese sentido se puede afirmar que la adición de aceite residual, mejora positivamente la resistencia del suelo.

## VI. CONCLUSIÓN

La investigación, mejoramiento de la subrasante incorporando el aceite residual de vehículos motorizados en la carretera Platería Perka, Puno 2021. Presenta las siguientes conclusiones:

1. Se determinó la influencia que presenta al incrementar el aceite residual en 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, para el mejoramiento de la subrasante de la carretera Platería Perka, presentaron mejoras en comparación a la muestra patrón de sus propiedades del suelo granular en una dosificación de 1.5 al 3.5%, existiendo una disminución en la mayoría de propiedades del suelo en una dosificación de 4.5% aceite residual.
2. La Máxima Densidad Seca del suelo natural que llega a 2.056 gr/cm<sup>3</sup>, mientras al añadirle en 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5% de aceite residual, se llegó a 2.060 gr/cm<sup>3</sup>, 2.077 gr/cm<sup>3</sup>, 2.086 gr/cm<sup>3</sup> y 2.006 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Se observa que la adición de aceite residual favorece en el proceso de compactación, aumenta la máxima densidad seca en un rango de 1.5% al 3.5%, reduciéndose la máxima densidad seca con el incremento del aceite residual al 4.5%.
3. Para nuestra investigación, el Ensayo de Proctor Modificado – Método A, para la muestra M-01, que consta del Óptimo Contenido de Humedad. Para esto se realizaron los respectivos procedimientos, para el **Óptimo Contenido de Humedad del suelo natural** que llega a un porcentaje de 8.64%, son reducidos con el incremento de aceite residual desde **1.5% al 4.5%** en 8.58%, 8.50%, 8.13% y 7.79%, disminuye una diferencia de -10.91% con respecto a la muestra patrón. Se concluye que la adición de aceite residual influye positivamente en el mejoramiento de óptimo contenido de humedad de la subrasante de la carretera Platería – Perka.
4. El CBR de la M-01, según los ensayos de CBR realizado a la muestra de suelo GP-GC (grava pobremente graduada con arcilla y arena), llega a un valor del CBR al 100% del suelo natural de 40.20%, incrementando en dosificaciones de **1.5% al 4.5%** de aceite residual en la muestra M-01, y tiene los siguientes valores

de CBR al 100% de 55.50%, 74.40%, 83.50% y 69.40% respectivamente, se observa que la resistencia del suelo aumenta en el rango de 1.5% al 3.5% de aceite residual y reduce la resistencia del suelo en la incorporación del 4.5% del aceite residual. Su aplicación en el mejoramiento de la subrasante de la carretera Platería – Perka es adecuado, con mezclas de suelo con aceite residual en el rango de 1.5% al 3.5% de aceite residual.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda para el mejoramiento de subrasante de suelos granulares, utilizar el aceite residual de vehículos motorizados en pequeñas cantidades de 1.5% al 3.5% para conseguir el valor óptimo de CBR, de modo que, esta pueda ser definida como una sub rasante excelente.

Se recomienda para realizar los ensayos de granulometría, clasificación de suelos y límites de Atterberg, las muestras de suelo obtenida tienen que ser tratadas con mucho cuidado es necesario registrarlos mediante códigos de modo que facilite su reconcomiendo, para que estos a la hora de la manipulación en laboratorio no genere confusiones y estas no vulneren los resultados.

Se recomienda para el ensayo de Proctor Modificado con adición de aceite residual, emplear el método A, la cual consiste en emplear molde de 101,6 mm (4pulg) el material empleado tiene que ser tamizado en la malla N°4.75mm donde tiene que pasar 20% o menos del material retenido, 25 golpes por cada capa un total de 5 capas, el agua que se agrega debe ser dispersada en la muestra de modo que este humedezca uniformemente y homogéneo así mismo se recomienda que el ensayo se deber realizar con dos o tres personas de modo que cada uno tenga una función establecida para no generar confusión en el procedimiento de los ensayos.

Se recomienda para el ensayo de CBR la adición de agua no debe de variar más del 2% de la humedad del Proctor Modificado, las lecturas deben ser objetivas y precisas, dentro del tiempo establecido y programado de modo que no se susciten errores técnicos que puedan vulnerar los resultados, los equipos de laboratorio como en campo deberán estar avalados por su certificación de calibración de modo que estas nos puedan otorgan resultados óptimos y objetivos.

## REFERENCIAS

1. REYES ORTIZ, OSCAR JAVIER; PORRAS, MYRIAM S.; RODRIGUEZ A., YESI. Empleo de aceite quemado para mejorar las propiedades mecánicas de bases y subbases granulares. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 11, diciembre, 2001, pp. 55-58.
2. ALVARADO, Alfredo. El origen de los suelos. Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. 1985. 7 pp. ISBN: 9977951578.
3. NAVARRO NÚÑEZ, WILBER. Estado situacional del manejo del aceite lubricante usado en la ciudad de Ayacucho y Propuesta de Disposición Final. 2014. Universidad de Piura, Piura. Facultad de Ingeniería.
4. Arte y cemento. Revista de la construcción y su entorno N°2020. [En línea]. Madrid: 30 de diciembre 2005. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=h2EEAAAAMBAJ&pg=PT66&dq=caucho+granulado+reciclado+areas+de+aplicacion&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwih4JPggPjkAhVEnKwKHcJ-DPQQ6wEINzAC#v=onepage&q&f=false>. ISSN 0212-8578.
5. BOTÍA, Wilmar. Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo. 2015. Tesis de pregrado. Universidad Militar Nueva Granada, Granada, España. Facultad de Ingeniería. Carrera de ingeniería civil Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf>.
6. BOWLES, Joseph. 1990, Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Bogotá: McGraw-Hill.
7. CASTRO, Guillermo, 2008, Materiales Y Compuestos Para La Industria Del neumático. Departamento De Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.
8. CORREDOR, G. (sf). Experimento vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO. Tesis de postgrado. Universidad nacional de ingeniería, Nicaragua.

9. CRESPO, Carlos. Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. 3ra Ed. México: Limusa, 2004. 102 pp. ISBN: 968-18-48497.
10. ESCOBAR, Gonzalo, 2016, Estructura de suelo y granulometría. Tesis pregrado. Universidad de Colombia.
11. GARCÍA, A. (2017). Subrasante para pavimentos. Recuperado de: <https://documento/365080614/Subrasante-Para-Pavimentos>.
12. GIORDANI, Diego y LEONE, Duque, [sf], Pavimentos [online]. 1. Rosario. [Acceso: 2 Nov 2018]. Disponible en: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20IPavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20IPavimentos.pdf).
13. HERRAEZ, Fernando y MORENO, Alberto. Ingeniería de vías agroforestales: Diseño, calculo, construcción, y mantenimientos de caminos. [En línea]. Madrid: Mundi-prensa, 2019. [ fecha de consulta: 10 de septiembre del 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=iMCXDwAAQBAJ&pg=PA264&dq=Clasificaci%C3%B3n+de+suelos+seg%C3%BA+++AASHTO&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjQ0fKN8PTkAhUPD60KHc99CjYQ6wEIRTAE#v=onepage&q&f=false>. ISBN: 9788484765448.
14. JUAREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. Mecánica de suelos (II) Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. México: Limusa, S.A de C.V, 2004. 532 pp. ISBN: 9681801288.
15. LAZO, A. (2011). Clasificación de suelos método AASHTO. Recuperado de: <https://doc/59926125/Clasificacion-de-Suelos-Metodo-AASHTO>.
16. LÓPEZ, Marco, 2017, Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos mediante el uso de cemento tipo MH. Tesis pregrado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
17. Medio Ambiente: Calidad ambiental por Pedro Ramos[et al.] [ en línea] España: Universidad de Salamanca. 2002.[Fecha de consulta: 11 de octubre del 2019] Capitulo 249: Estrategias de reciclado. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=dDbXfoaHOTcC&pg=PA249&dq=Ca+ucho+Granulado+Reciclado+metodo+de+aplicacion&hl=es419&sa=X&ved>

=0ahUKEwjJZ20ivXkAhUL5awKHZpKDJ8Q6wEIKjAA#v=onepage&q=Caucho%20Granulado%20Reciclado%20metodo%20de%20aplicacion&f=false  
ISBN: 8478007776.

18. Mecánica de suelo (II) por Adrián Oscar Macías [et al.]. [s. l]: Área de innovación y desarrollo, S.L, 2018. 67 pp. ISBN: 8494857770.
19. MENÉNDEZ, José, 2013, Ingeniería de pavimentos: materiales y variables de diseño. 43. Lima, Perú: ICG.
20. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES .2007. Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras. Aprobado por resolución directoral nº 051-2007- MTC/14. Lima, Perú.
21. MORONE, G. 2012. Métodos y técnicas de la investigación científica. Santiago de surco.
22. NTP 339.134 (1999) – Clasificación SUCS.
23. NUÑEZ, George. Fundamentos de Edafología. Costa Rica: Universidad estatal a distancia. EUNED. [2002?].144 pp. ISBN: 997764148X.
24. LAICA, Juan Gabriel, 2016, “Influencia de la inclusión del polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base”. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Ambato-Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24440>.
25. RAMÍREZ, Náyade, 2006, Utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Recuperado de: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez\\_n/sources/ramirez\\_n.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_n/sources/ramirez_n.pdf)
26. RICO, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles, aeropistas. México D.F: Limusa, 2005.24 pp. ISBN: 968-18-0054-0.
27. ROJAS, Daniel, 2012, Índice de soporte de California. Escuela de ingeniería en construcción. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/277184354/informe-cbr-pdf>.
28. SALVATIERRA, José, 2012, Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta-Ayacucho. Pregrado. Universidad San Cristóbal de Huamanga.

29. SÁNCHEZ, María, 2014, Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón Tosagua provincia de Manabí. Tesis de pregrado. Universidad católica de Ecuador.
30. THOMPSON, Louis y TROEH, Frederik. Los suelos y su fertilidad. 4ta Ed. Barcelona: Reverté 2002. 53 pp. ISBN: 8429110410.

# **ANEXOS**

## ANEXO 01: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| "MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERÍA PERKA, PUNO 2021" |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              |                          |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------|
| VARIABLES                                                                                                                          | DEFINICION CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                  | DIMENCIONES  | INDICADORES              | ESCALA DE MEDICION |
| VARIABLE INDEPENDIENTE (X) ACEITE RESIDUAL                                                                                         | Según Huaquisto, El aceite residual es una mezcla de hidrocarburos que contiene restos de desgaste de motor durante el uso de funcionamiento de motores y sistema de transmisión de las maquinarias pierden sus propiedades y características volviéndose inadecuados cuando se impregna el aceite en los suelos. (2016) | La variable independiente que es el aceite residual tiene una dimensión y tres indicadores y un instrumento de medición | Dosificación | S + 1.5% aceite residual | Razón              |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              | S + 2.5% aceite residual |                    |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              | S + 3.5% aceite residual |                    |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              | S + 4.5% aceite residual |                    |
| VARIABLE DEPENDIENTE (Y) SUBRASANTE                                                                                                | Según MTC, la subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierra (corte o relleno), sobre el cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (2018)                                                                                                                            | La variable dependiente tiene tres dimensión y seis indicadores los cuales tienen un instrumento de medición.           | Consistencia | Limite líquido           | Razón              |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              | Limite plástico          |                    |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              | Índice de plasticidad    |                    |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         | Compactación | Clasificación de suelo   | Razón              |
| Optimo contenido de humedad y máxima densidad seca                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                         |              |                          |                    |
| Penetración                                                                                                                        | Capacidad portante de la sub rasante.                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Razón                                                                                                                   |              |                          |                    |

## ANEXO 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| TITULO                                                                                                                           | MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERÍA PERKA, PUNO 2021    |                                                                                                                   |                                   |              |                                                          |                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| AUTOR                                                                                                                            | JALANOCA CCAMA, FREYRE VELIZ                                                                                                        |                                                                                                                   |                                   |              |                                                          |                                 |
| PROBLEMA                                                                                                                         | OBJETIVOS                                                                                                                           | HIPOTESIS                                                                                                         | VARIABLE, INDICADOR E INSTRUMENTO |              |                                                          |                                 |
| PROBLEMA GENERAL                                                                                                                 | OBJETIVO GENERAL                                                                                                                    | HIPOTESIS GENERAL                                                                                                 | VARIABLE DEPENDIENTE              | DIMENSIONES  | INDICADORES                                              | INSTRUMENTOS                    |
| ¿Cómo influye la incorporación de aceite residual en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021? | Determinar cómo influye el aceite residual en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.           | El aceite residual influye en las propiedades de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.         | Subrasante                        | Consistencia | Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad. | Ensayo de límites de atterberg. |
|                                                                                                                                  |                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                   | Compactación | Clasificación de suelo                                   | Ensayo de granulometría.        |
|                                                                                                                                  |                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                   |              | Optimo contenido de humedad y máxima densidad seca       | Ensayo de proctor modificado    |
| Resistencia a la penetración                                                                                                     | Capacidad portante de la subrasante.                                                                                                | Ensayo de CBR                                                                                                     |                                   |              |                                                          |                                 |
| PROBLEMAS ESPECIFICOS                                                                                                            | OBJETIVOS ESPECIFICOS                                                                                                               | HIPOTESIS ESPECIFICOS                                                                                             | VARIABLE INDEPENDIENTE            | DIMENSIONES  | INDICADORES                                              | INSTRUMENTOS                    |
| ¿Cómo influye el aceite residual en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021?          | Determinar la influencia del aceite residual en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. | El aceite residual influye en la densidad seca máxima de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. | Aceite residual                   | Dosificación | 0%, 1.5%, 2.5, 3.5 y 4.5% de aceite residual             | Balanza de medición de peso     |
| ¿Cómo influye el aceite residual en el contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021?          | Determinar la influencia del aceite residual en el contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. | El aceite residual influye en el contenido de humedad de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021. |                                   |              |                                                          |                                 |
| ¿Cómo influye el aceite residual en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021?                           | Determinar la influencia del aceite residual en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.                  | El aceite residual influye en el CBR de la subrasante en la carretera Platería Perka, Puno 2021.                  |                                   |              |                                                          |                                 |

## ANEXO 03: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

### INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

#### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto : ESCALANTE CONTRERAS, JORGE.  
Institución donde labora : UNIVESIDAD CÉSAR VALLEJO  
Especialidad : GEOTECNISTA  
Instrumento de evaluación : Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, Ensayo Proctor Modificado y Ensayo CBR.  
Autor (s) del instrumento (s) : Jаланoca Ccama Freyre Veliz.

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

| CRITERIOS            | INDICADORES                                                                                                                                                                                                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|-----------|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.                                                                                                                              |   |   |   |   | X         |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>SUBRASANTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                                         |   |   |   |   | X         |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>SUBRASANTE</b>                                                                                       |   |   |   |   | X         |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permitan hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |   | X         |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.                                                                                                                        |   |   |   |   | X         |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.                                                                                                       |   |   |   |   | X         |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.                                                                                     |   |   |   |   | X         |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>COLOCAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE</b>                                                                                                 |   |   |   |   | X         |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.                                                                                                 |   |   |   |   | X         |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.                                                                                                                                                             |   |   |   |   | X         |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   | <b>50</b> |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD El Proyecto de Investigación es procedente.

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 50

Lima, 10 de mayo de 2021.



.....  
JORGE ESCALANTE CONTRERAS  
DNI N° 28286636

**INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

**I. DATOS GENERALES**

Apellidos y nombres del experto: ROBERTO SONCCO QUISPE  
 Institución donde labora : IVP - PROVIAS  
 Especialidad : MONITOR DE PROYECTOS DE ENERGÍA  
 Instrumento de evaluación : Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado,  
 Límites de Atterberg, Ensayo Proctor Modificado y Ensayo CBR.  
 Autor (s) del instrumento (s) : Jalanoca Ccama, Freyre Veliz.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

| CRITERIOS            | INDICADORES                                                                                                                                                                                                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|-----------|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.                                                                                                                              |   |   |   |   | X         |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                      |   |   |   |   | X         |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b> .                                                                  |   |   |   |   | X         |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |   | X         |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.                                                                                                                        |   |   |   |   | X         |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.                                                                                                       |   |   |   |   | X         |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.                                                                                     |   |   |   |   | X         |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b>                                                                                                    |   |   |   |   | X         |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.                                                                                                 |   |   |   |   | X         |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.                                                                                                                                                             |   |   |   |   | X         |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   | <b>50</b> |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

LA INVESTIGACION DE TAL ES PROCEDENTE Y/O VÁLIDO APLICABLE.

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

**50**

Lima, 12 de Mayo de 2021.



ROBERTO SONCCO QUISPE  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.C. 101780

## INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: MAMANI CASTILLO ROGER  
 Institución donde labora : PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL  
 Especialidad : ESPECIALISTA EN OBRAS PÚBLICAS  
 Instrumento de evaluación : Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, Ensayo Proctor Modificado y Ensayo CBR.  
 Autor (s) del instrumento (s) : Jalanoca Ccama, Freyre Veliz.

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

| CRITERIOS            | INDICADORES                                                                                                                                                                                                                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|----|
| CLARIDAD             | Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.                                                                                                                              |   |   |   |   | X  |
| OBJETIVIDAD          | Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b> en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.                      |   |   |   |   | X  |
| ACTUALIDAD           | El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b> .                                                                  |   |   |   |   | X  |
| ORGANIZACIÓN         | Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación. |   |   |   |   | X  |
| SUFICIENCIA          | Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.                                                                                                                        |   |   |   |   | X  |
| INTENCIONALIDAD      | Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.                                                                                                       |   |   |   |   | X  |
| CONSISTENCIA         | La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.                                                                                     |   |   |   |   | X  |
| COHERENCIA           | Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: <b>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE</b>                                                                                                    |   |   |   |   | X  |
| METODOLOGÍA          | La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.                                                                                                 |   |   |   |   | X  |
| PERTINENCIA          | La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.                                                                                                                                                             |   |   |   |   | X  |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> |                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |   |   | 50 |

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

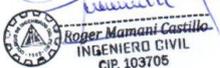
### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

PROCEDENTE LA INVESTIGACIÓN DE TESIS.

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

50

Lima, 13 de MAYO de 2021.

  
  
**Roger Mamani Castillo**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 103706



|                                                                                   |                                                 |                        |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO</b> |                        |  |
|                                                                                   | NORMA: ASTM D 2216 / MTC E 108                  |                        |                                                                                     |
|                                                                                   | Elaborado Por:<br>wchs.                         | Aprobado por:<br>wchs. |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SURRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOSMOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR. - 001/M-1  
**SOLOCITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **AFIRMADO** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0% **FECHA:** 12/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DEL ENSAYO                    |    | M-01        | M-02    |
|-------------------------------------|----|-------------|---------|
| A.- Peso de la muestra húmeda.      | g. | 1343.3      | 11621.0 |
| B.- Peso de muestra seca            | g. | 1189.4      | 10277.9 |
| C.- Peso del recipiente             | g. | 0.0         | 0.0     |
| D.- Contenido de humedad            | %  | 12.9        | 13.1    |
| E.- Contenido de humedad (promedio) | %  | <b>13.0</b> |         |

**OBSERVACIONES:**

1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

  
 Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



  
 ENRIQUE GUILLEN AR  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                         |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b> |               |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 4318 / MTC E 110 / MTC E 111</b>                                       |               |                                                                                     |
| Elaborado Por:                                                                    |                                                                                         | Aprobado por: |                                                                                     |
| wchs.                                                                             |                                                                                         | wchs.         |                                                                                     |

**TESIS:**

MEJORAMIENTO DE LA SURRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR. - 001/M-1

**SOLOCITANTE:**

BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**APLICACIÓN:**

AFIRMADO

**UBICACIÓN:**

CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0%

**FECHA:**

15/04/2021

**MUESTREO:**

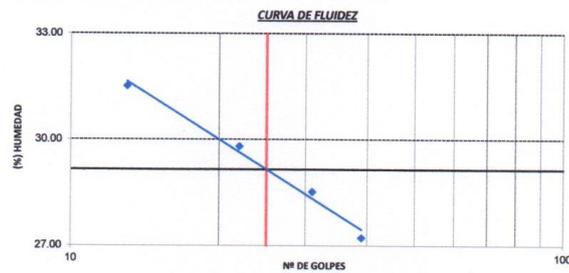
ACOPIO

| DATOS DE ENSAYO       | LÍMITE LÍQUIDO |       |       |       | LÍMITE PLÁSTICO |       |
|-----------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
|                       | 18             | 4C    | 12    | 38    | 7B              | 3     |
| N° de tarro           | 18             | 4C    | 12    | 38    | 7B              | 3     |
| N° de golpes          | 39             | 31    | 22    | 13    | —               | —     |
| Tarro + suelo húmedo  | 32.91          | 34.53 | 53.75 | 39.67 | 18.94           | 17.06 |
| Tarro + suelo seco    | 30.22          | 31.46 | 50.03 | 35.51 | 17.50           | 15.95 |
| Agua                  | 2.69           | 3.07  | 3.72  | 4.16  | 1.44            | 1.11  |
| Peso del tarro        | 20.34          | 20.70 | 37.55 | 22.31 | 9.82            | 9.93  |
| Peso del suelo seco   | 9.88           | 10.76 | 12.48 | 13.20 | 7.68            | 6.02  |
| Porcentaje de humedad | 27.23          | 28.53 | 29.81 | 31.52 | 18.75           | 18.44 |

| CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA  |        |
|------------------------------------|--------|
| Límite Líquido                     | 29.0 % |
| Límite Plástico                    | 19.0 % |
| Índice de Plasticidad (Malla N°40) | 10.0 % |

**Notas:**

- Ensayo efectuado al material pasante la malla N°40



**OBSERVACIONES:**

1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                                              |                        |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO:</b> ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES A 37.5 mm (1 1/2") |                        |  |
|                                                                                   | <b>NORMA:</b> ASTM C 131 / MTC E 207                                                                         |                        |                                                                                     |
|                                                                                   | Elaborado por:<br>wchs.                                                                                      | Aprobado por:<br>wchs. |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SURRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOSMOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR. - 001/M-1  
**SOLOCITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0% **FECHA:** 15/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| Tamiz                       |        | GRADACIONES |   |   |   |
|-----------------------------|--------|-------------|---|---|---|
| pulg.                       | mm.    | A           | B | C | D |
| 1"                          | 25.000 | 1254        |   |   |   |
| 3/4"                        | 19.000 | 1252        |   |   |   |
| 1/2"                        | 12.500 | 1251        |   |   |   |
| 3/8"                        | 9.500  | 1250        |   |   |   |
| 1/4"                        | 6.300  | ---         |   |   |   |
| Nº 04                       | 4.750  | ---         |   |   |   |
| Nº 08                       | 2.360  | ---         |   |   |   |
| PESO TOTAL                  |        | 5007        |   |   |   |
| PESO OBTENIDO               |        | 3455        |   |   |   |
| PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO. |        | 1552        |   |   |   |
| Nº DE ESFERAS               |        | 12          |   |   |   |
| PORCENTAJE OBTENIDO (%)     |        | 31.0        |   |   |   |

**ESPECIFICACIÓN :** 50% Máx

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

**CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO**  
  
**Willy Choquecota Serrano**

Técnico Laboratorista

  
  
**ENRIQUE GUILLEN AR**  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                                            |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie3)</b> |               |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115</b>                                                                      |               |                                                                                     |
| Elaborado Por:                                                                    |                                                                                                            | Aprobado por: |                                                                                     |
| wchs.                                                                             |                                                                                                            | wchs.         |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SURRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOMOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR - 001/M-1

**SOLOCITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**APLICACIÓN:** AFIRMADO

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0%

**FECHA:** 13/05/2021

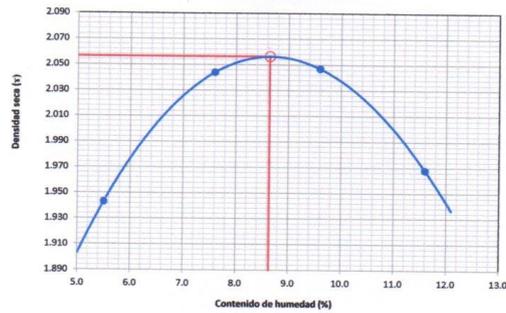
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DE LA COMPACTACIÓN         |             |       |       |       |
|----------------------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                                  | 1           | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo + molde           | g. 10601    | 10917 | 11011 | 10911 |
| Peso del molde                   | g. 6256     | 6256  | 6256  | 6256  |
| Peso del suelo húmedo compactado | g. 4345     | 4661  | 4755  | 4655  |
| Volumen del molde                | cm3 2120    | 2120  | 2120  | 2120  |
| Peso del volumen húmedo          | g/cm3 2.050 | 2.199 | 2.243 | 2.196 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |             |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                              | 1           | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo húmedo + tara | g. 785.6    | 735.1 | 687.5 | 687.5 |
| Peso del suelo seco + tara   | g. 744.6    | 683.2 | 627.3 | 616.0 |
| Peso de tara                 | g. 0.0      | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Peso de agua                 | g. 41       | 51.9  | 60.2  | 71.5  |
| Peso de suelo seco           | g. 744.6    | 683.2 | 627.3 | 616   |
| contenido de agua            | % 5.5       | 7.6   | 9.6   | 11.6  |
| Peso volumétrico seco        | g/cm3 1.943 | 2.044 | 2.047 | 1.968 |

|                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>        | <b>2.056 g/cm3</b> |
| <b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b> | <b>8.64 %</b>      |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**OBSERVACIONES:**

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |  |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                |  |                                                                                     |
|                                                                                   | wchs.                                                                                         |  | wchs                                                                                |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR. - 001/M-1  
**SOLOCITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0% **FECHA:** 14/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| COMPACTACIÓN                 |              |            |                       |                  |              |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
|------------------------------|--------------|------------|-----------------------|------------------|--------------|----------|-----------|------------------|------|-----------|------|------------------|-----|----------|------|
| Nº Molde                     | 1            |            | 2                     |                  | 3            |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Nº Capa                      | 5            |            | 5                     |                  | 5            |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Nº Golpes por capa           | 55           |            | 26                    |                  | 12           |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| CONDICION DE LA MUESTRA      | Sin Saturado | Saturado   | Sin Saturado          | Saturado         | Sin Saturado | Saturado |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso molde + Suelo húmedo    | 11903        | 11937      | 11747                 | 11796            | 11471        | 11581    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso de molde (g)            | 7170         | 7170       | 7237                  | 7237             | 7189         | 7189     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso del suelo húmedo (g)    | 4733         | 4767       | 4510                  | 4559             | 4282         | 4392     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Volumen del molde (cc)       | 2122         | 2122       | 2128                  | 2128             | 2124         | 2124     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Densidad húmeda (g/cc)       | 2.230        | 2.246      | 2.119                 | 2.142            | 2.016        | 2.068    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| % de humedad                 | 8.5          | 9.3        | 8.6                   | 9.8              | 8.6          | 11.3     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Densidad seca (g/cc)         | 2.055        | 2.055      | 1.952                 | 1.951            | 1.857        | 1.857    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| CONTENIDO DE HUMEDAD         |              |            |                       |                  |              |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Tarro Nº                     | -            | -          | -                     | -                | -            | -        |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Tarro + Suelo húmedo ( gr. ) | 840.3        | 917.3      | 802.2                 | 935.4            | 725.3        | 1003.9   |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Tarro + Suelo seco ( gr. )   | 774.2        | 839.3      | 738.9                 | 851.7            | 668.1        | 901.7    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso del Agua ( gr. )        | 66.1         | 78.0       | 63.3                  | 83.7             | 57.2         | 102.2    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso del tarro ( gr. )       |              |            |                       |                  |              |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Peso del suelo seco ( gr. )  | 774          | 839.3      | 738.9                 | 851.7            | 668.1        | 901.7    |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| % de humedad                 | 8.5          | 9.3        | 8.6                   | 9.8              | 8.6          | 11.3     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| Promedio de Humedad (%)      | 8.54         | 9.3        | 8.57                  | 9.8              | 8.56         | 11.3     |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| EXPANSIÓN                    |              |            |                       |                  |              |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| FECHA                        | HORA         | TIEMPO Hr. | DIAL                  | EXPANSIÓN        |              | DIAL     | EXPANSIÓN |                  | DIAL | EXPANSIÓN |      |                  |     |          |      |
|                              |              |            |                       | pulg             | %            |          | pulg      | %                |      | pulg      | %    |                  |     |          |      |
| 14/04/2021                   | 17.30        | 0          | 0                     | 0.000            | 0            | 0        | 0         | 0                | 0    | 0         | 0    |                  |     |          |      |
| 15/04/2021                   | 17.30        | 24         | 11                    | 0.004            |              | 17       | 0.007     |                  | 21   | 0.008     |      |                  |     |          |      |
| 16/04/2021                   | 17.30        | 48         | 27                    | 0.011            |              | 34       | 0.013     |                  | 39   | 0.015     |      |                  |     |          |      |
| 17/04/2021                   | 17.30        | 72         | 35                    | 0.014            |              | 48       | 0.019     |                  | 53   | 0.021     |      |                  |     |          |      |
| 18/04/2021                   | 17.30        | 96         | 36                    | 0.014            |              | 48       | 0.019     |                  | 53   | 0.021     |      |                  |     |          |      |
|                              |              |            | 4.57                  | total            | 0.31         | 4.54     | total     | 0.42             | 4.56 | total     | 0.46 |                  |     |          |      |
| PENETRACIÓN                  |              |            |                       |                  |              |          |           |                  |      |           |      |                  |     |          |      |
| PENETRACIÓN                  |              | TIEMPO     | CARGA STAND. kg./cm.2 | MOLDE Nº 1       |              |          |           | MOLDE Nº 2       |      |           |      | MOLDE Nº 3       |     |          |      |
| mm.                          | pulg.        |            |                       | CARGA Lect. Dig. | Kg.          | kg./cm.2 | %         | CARGA Lect. Dig. | Kg.  | kg./cm.2  | %    | CARGA Lect. Dig. | Kg. | kg./cm.2 | %    |
| 0.000                        | 0.000        | 0'00"      | 0                     | 0                | 0            |          | 0         | 0                | 0    |           | 0    | 0                | 0   |          |      |
| 0.640                        | 0.025        | 0'30"      | 95                    | 95               | 4.9          |          | 65        | 65               | 3.3  |           | 36   | 36               | 1.9 |          |      |
| 1.270                        | 0.050        | 1'00"      | 223                   | 223              | 11.4         |          | 153       | 153              | 7.9  |           | 90   | 90               | 4.6 |          |      |
| 1.910                        | 0.075        | 1'30"      | 369                   | 369              | 18.9         |          | 253       | 253              | 13.0 |           | 149  | 149              | 7.6 |          |      |
| 2.540                        | 0.100        | 2'00"      | 70.31                 | 527              | 527          | 27.1     | 40.1      | 357              | 357  | 18.3      | 27.4 | 203              | 203 | 10.4     | 14.4 |
| 3.170                        | 0.125        | 2'30"      |                       | 656              | 656          | 33.7     |           | 450              | 450  | 23.1      |      | 237              | 237 | 12.2     |      |
| 3.810                        | 0.150        | 3'00"      |                       | 778              | 778          | 39.9     |           | 533              | 533  | 27.4      |      | 270              | 270 | 13.9     |      |
| 5.080                        | 0.200        | 4'00"      | 105.46                | 944              | 944          | 48.5     | 46.2      | 645              | 645  | 33.1      | 31.6 | 322              | 322 | 16.5     | 16.0 |
| 7.620                        | 0.300        | 6'00"      |                       | 1194             | 1194         | 61.3     |           | 819              | 819  | 42.1      |      | 402              | 402 | 20.7     |      |
| 10.160                       | 0.400        | 8'00"      |                       | 1404             | 1404         | 72.1     |           | 963              | 963  | 49.5      |      | 443              | 443 | 22.8     |      |
| 12.700                       | 0.500        | 10'00"     |                       | 1554             | 1554         | 79.8     |           | 1066             | 1066 | 54.7      |      | 473              | 473 | 24.3     |      |

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



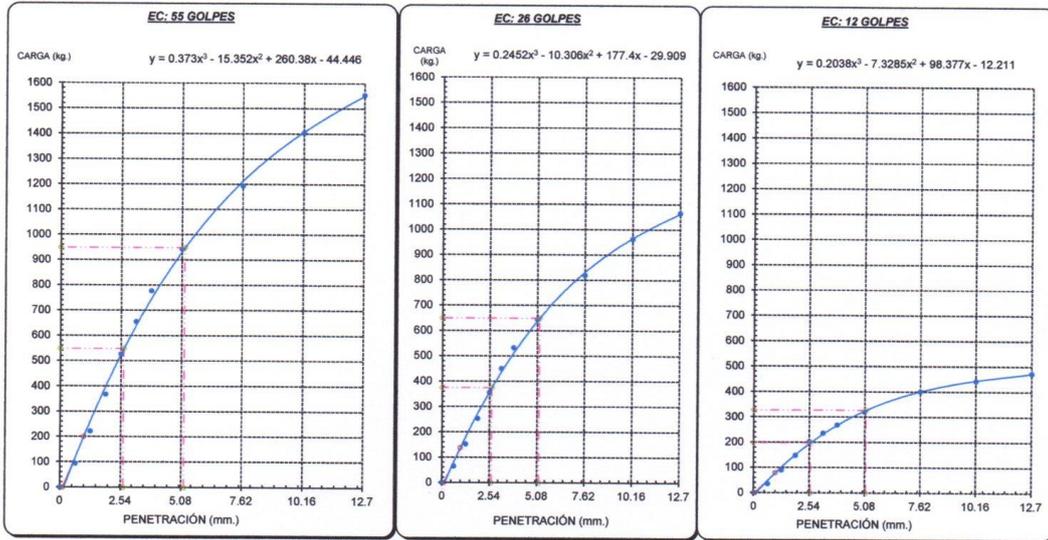
ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |       |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |       |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                | wchs. |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR. - 001/M-1  
**SOLOCITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0% **FECHA:** 14/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

**GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN**



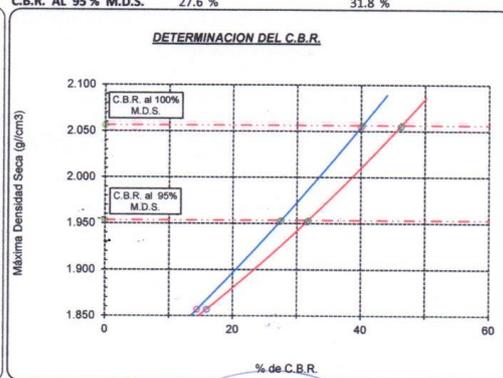
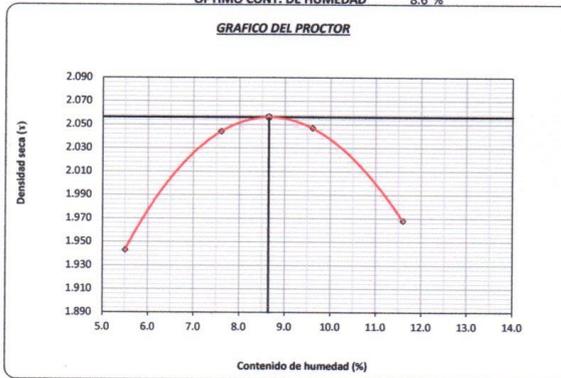
**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA AL 100%    2.056 g./cm<sup>3</sup>  
 DENSIDAD SECA AL 95%    1.954 g./cm<sup>3</sup>  
 OPTIMO CONT. DE HUMEDAD    8.6 %

**VALOR DEL C.B.R.**

|                        | 2.54 cm. | 5.08 cm. |
|------------------------|----------|----------|
| C.B.R. AL 100 % M.D.S. | 40.2 %   | 46.4 %   |
| C.B.R. AL 95 % M.D.S.  | 27.6 %   | 31.8 %   |



**DESCRIPCIÓN O CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL USADO:**

AASTHO: A-2-4(0)  
 SUCS: GP-GC Grava pobremente gradada con arcilla y arena

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 0%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.1993) (GUÍA PERUANA INDECOPI G004:

**CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO**

  
**Willy Choquecota Serrano**  
 Técnico Laboratorista

  
**ENRIQUE GUILLEN AR**  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                                            |                       |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie3)</b> |                       |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115</b>                                                                      |                       |                                                                                     |
|                                                                                   | Elaborado Por:<br>wchs.                                                                                    | Aprobado por:<br>wchs |                                                                                     |

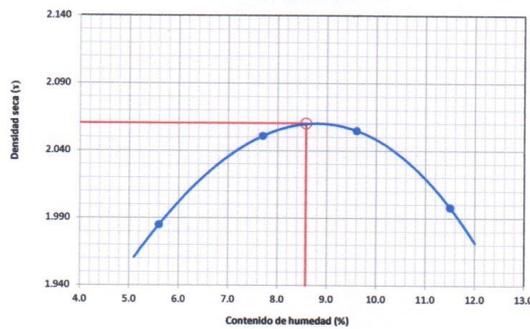
**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.-002/M-2  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 1.5% **FECHA:** 15/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DE LA COMPACTACIÓN         |             |       |       |       |
|----------------------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                                  | 1           | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo + molde           | g. 10699    | 10940 | 11030 | 10980 |
| Peso del molde                   | g. 6256     | 6256  | 6256  | 6256  |
| Peso del suelo húmedo compactado | g. 4443     | 4684  | 4774  | 4724  |
| Volumen del molde                | cm3 2120    | 2120  | 2120  | 2120  |
| Peso del volumen húmedo          | g/cm3 2.096 | 2.209 | 2.252 | 2.228 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |             |       |       |       |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                              | 1           | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo húmedo + tara | g. 687.3    | 695.7 | 723.5 | 735.4 |
| Peso del suelo seco + tara   | g. 650.9    | 646.0 | 660.1 | 659.6 |
| Peso de tara                 | g. 0.0      | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Peso de agua                 | g. 36.4     | 49.7  | 63.4  | 75.8  |
| Peso de suelo seco           | g. 650.9    | 646   | 660.1 | 659.6 |
| contenido de agua            | % 5.6       | 7.7   | 9.6   | 11.5  |
| Peso volumétrico seco        | g/cm3 1.985 | 2.051 | 2.055 | 1.998 |

|                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>        | <b>2.060 g/cm3</b> |
| <b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b> | <b>8.58 %</b>      |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**OBSERVACIONES:**

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 1.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                 |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b>      |               |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |               |                                                                                     |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                  | Aprobado por: |                                                                                     |
|                                                                                   | wchs.                                           |               | wchs.                                                                               |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.-002/M-2

**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**APLICACIÓN:** AFIRMADO

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 1.5%

**FECHA:** 16/04/2021

**MUESTREO:** ACOPIO

| COMPACTACIÓN                 |              |                 |                   |            |              |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
|------------------------------|--------------|-----------------|-------------------|------------|--------------|--------------------------|-------------------|------------|------|--------------------------|-------------------|------------|------|--------------------------|------|
| Nº Molde                     | 4            |                 | 5                 |            | 6            |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Nº Capa                      | 5            |                 | 5                 |            | 5            |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Nº Golpes por capa           | 55           |                 | 26                |            | 12           |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| CONDICION DE LA MUESTRA      | Sin Saturado | Saturado        | Sin Saturado      | Saturado   | Sin Saturado | Saturado                 |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso molde + Suelo húmedo    | 12113        | 12137           | 11799             | 11843      | 11571        | 11660                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso de molde (g)            | 7213         | 7213            | 7165              | 7165       | 7179         | 7179                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso del suelo húmedo (g)    | 4900         | 4924            | 4634              | 4678       | 4392         | 4481                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Volumen del molde (cc)       | 2134         | 2134            | 2124              | 2124       | 2122         | 2122                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Densidad húmeda (g/cc)       | 2.296        | 2.307           | 2.182             | 2.202      | 2.070        | 2.112                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| % de humedad                 | 8.5          | 8.9             | 8.6               | 9.6        | 8.5          | 10.7                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Densidad seca (g/cc)         | 2.116        | 2.118           | 2.009             | 2.010      | 1.907        | 1.908                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| CONTENIDO DE HUMEDAD         |              |                 |                   |            |              |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Tarro Nº                     | -            | -               | -                 | -          | -            | -                        |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Tarro + Suelo húmedo ( gr. ) | 732.5        | 864.5           | 726.4             | 877.3      | 786.4        | 885.4                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Tarro + Suelo seco ( gr. )   | 674.9        | 793.6           | 668.8             | 800.7      | 724.7        | 799.8                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso del Agua ( gr. )        | 57.6         | 70.9            | 57.6              | 76.6       | 61.7         | 85.6                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso del tarro ( gr. )       |              |                 |                   |            |              |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Peso del suelo seco ( gr. )  | 675          | 793.6           | 668.8             | 800.7      | 724.7        | 799.8                    |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| % de humedad                 | 8.5          | 8.9             | 8.6               | 9.6        | 8.5          | 10.7                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| Promedio de Humedad (%)      | 8.53         | 8.9             | 8.61              | 9.6        | 8.51         | 10.7                     |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| EXPANSIÓN                    |              |                 |                   |            |              |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| FECHA                        | HORA         | TIEMPO<br>Hr.   | DIAL              | EXPANSIÓN  |              | DIAL                     | EXPANSIÓN         |            | DIAL | EXPANSIÓN                |                   |            |      |                          |      |
|                              |              |                 |                   | pulg       | %            |                          | pulg              | %          |      | pulg                     | %                 |            |      |                          |      |
| 16/04/2021                   | 17.30        | 0               | 0                 | 0.000      | 0            | 0                        | 0                 | 0          | 0    | 0                        | 0                 |            |      |                          |      |
| 17/04/2021                   | 17.30        | 24              | 11                | 0.004      |              | 17                       | 0.007             |            | 21   | 0.008                    |                   |            |      |                          |      |
| 18/04/2021                   | 17.30        | 48              | 27                | 0.011      |              | 34                       | 0.013             |            | 39   | 0.015                    |                   |            |      |                          |      |
| 19/04/2021                   | 17.30        | 72              | 35                | 0.014      |              | 48                       | 0.019             |            | 53   | 0.021                    |                   |            |      |                          |      |
| 20/04/2021                   | 17.30        | 96              | 36                | 0.014      |              | 48                       | 0.019             |            | 53   | 0.021                    |                   |            |      |                          |      |
|                              |              |                 | 4.43              | total      | 0.32         | 4.57                     | total             | 0.41       | 4.57 | total                    | 0.46              |            |      |                          |      |
| PENETRACIÓN                  |              |                 |                   |            |              |                          |                   |            |      |                          |                   |            |      |                          |      |
| PENETRACIÓN                  | TIEMPO       | CARGA<br>STAND. | MOLDE Nº 4        |            |              |                          | MOLDE Nº 5        |            |      |                          | MOLDE Nº 6        |            |      |                          |      |
|                              |              |                 | CARGA<br>kg./cm.2 | Lect. Dig. | Kg.          | CORRECCIÓN<br>kg./cm.2 % | CARGA<br>kg./cm.2 | Lect. Dig. | Kg.  | CORRECCIÓN<br>kg./cm.2 % | CARGA<br>kg./cm.2 | Lect. Dig. | Kg.  | CORRECCIÓN<br>kg./cm.2 % |      |
| 0.000                        | 0.000        | 0'00"           | 0                 | 0          | 0            |                          | 0                 | 0          | 0    |                          | 0                 | 0          | 0    |                          |      |
| 0.640                        | 0.025        | 0'30"           | 159               | 159        | 8.2          |                          | 110               | 110        | 5.6  |                          | 56                | 56         | 2.9  |                          |      |
| 1.270                        | 0.050        | 1'00"           | 375               | 375        | 19.3         |                          | 258               | 258        | 13.2 |                          | 140               | 140        | 7.2  |                          |      |
| 1.910                        | 0.075        | 1'30"           | 621               | 621        | 31.9         |                          | 427               | 427        | 21.9 |                          | 230               | 230        | 11.8 |                          |      |
| 2.540                        | 0.100        | 2'00"           | 70.31             | 888        | 888          | 45.6                     | 67.5              | 601        | 601  | 30.9                     | 46.1              | 314        | 314  | 16.1                     | 22.3 |
| 3.170                        | 0.125        | 2'30"           |                   | 1106       | 1106         | 56.8                     |                   | 758        | 758  | 39.0                     |                   | 366        | 366  | 18.8                     |      |
| 3.810                        | 0.150        | 3'00"           |                   | 1310       | 1310         | 67.3                     |                   | 898        | 898  | 46.1                     |                   | 417        | 417  | 21.4                     |      |
| 5.080                        | 0.200        | 4'00"           | 105.46            | 1590       | 1590         | 81.6                     | 77.8              | 1086       | 1086 | 55.8                     | 53.2              | 497        | 497  | 25.5                     | 24.7 |
| 7.620                        | 0.300        | 6'00"           |                   | 2012       | 2012         | 103.3                    |                   | 1381       | 1381 | 70.9                     |                   | 622        | 622  | 31.9                     |      |
| 10.160                       | 0.400        | 8'00"           |                   | 2366       | 2366         | 121.5                    |                   | 1623       | 1623 | 83.3                     |                   | 685        | 685  | 35.2                     |      |
| 12.700                       | 0.500        | 10'00"          |                   | 2619       | 2619         | 134.5                    |                   | 1795       | 1795 | 92.2                     |                   | 732        | 732  | 37.6                     |      |

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GFOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |      |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |      |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                | wchs |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.-002/M-2

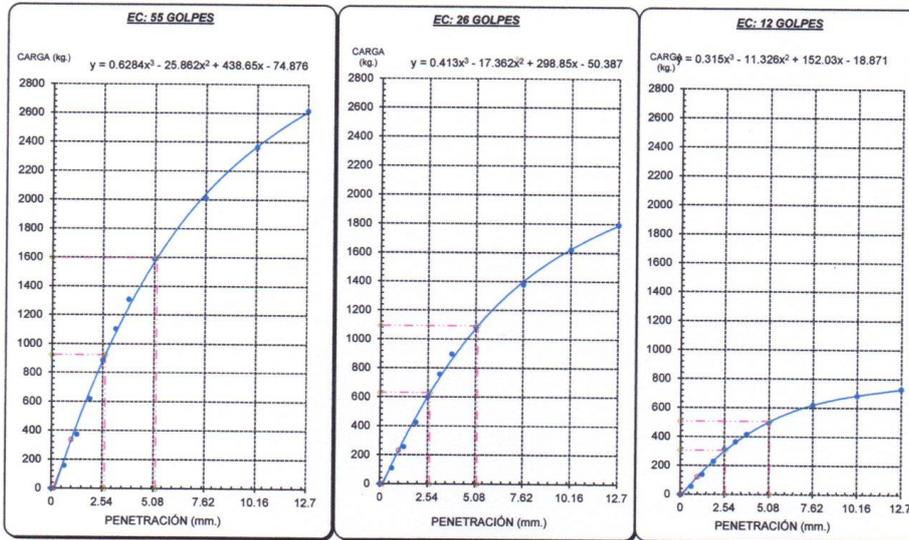
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**APLICACIÓN:** AFIRMADO

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 1.5%

**FECHA:** 16/04/2021

**GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN**



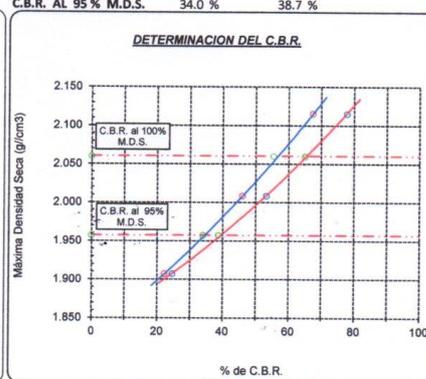
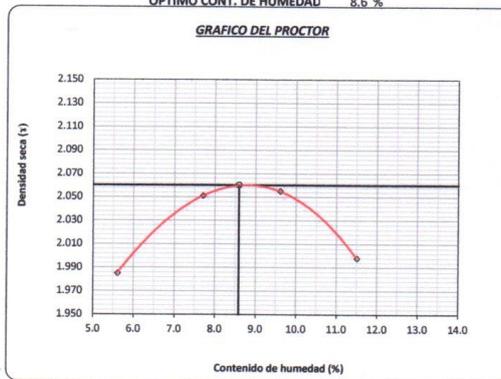
**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

**DATOS DEL PROCTOR**

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| DENSIDAD SECA AL 100%   | 2.060 g/cm <sup>3</sup> |
| DENSIDAD SECA AL 95%    | 1.957 g/cm <sup>3</sup> |
| OPTIMO CONT. DE HUMEDAD | 8,6 %                   |

**VALOR DEL C.B.R.**

|                        |          |          |
|------------------------|----------|----------|
|                        | 2.54 cm. | 5.08 cm. |
| C.B.R. AL 100 % M.D.S. | 55.5 %   | 65.1 %   |
| C.B.R. AL 95 % M.D.S.  | 34.0 %   | 38.7 %   |



DESCRIPCIÓN O CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL USADO:

AASTHO: A-2-4(0)  
 SUCS: GP-GC Grava pobremente gradada con arcilla y arena

**OBSERVACIONES:**

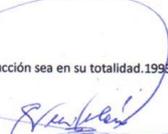
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 1.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.1998) (GUIA PERUANA INDECOPI 0004:

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

  
 Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



  
 ENRIQUE GUILLEN AR  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                                                       |                        |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie<sup>3</sup>)</b> |                        |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115</b>                                                                                 |                        |                                                                                     |
| Elaborado Por:<br>WCHS.                                                           |                                                                                                                       | Aprobado por:<br>WCHS. |                                                                                     |

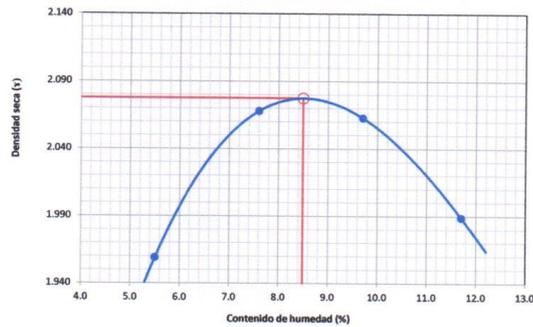
**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.-003/M-3  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 2.5% **FECHA:** 15/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DE LA COMPACTACIÓN         |                         |       |       |       |
|----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                                  | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo + molde           | g. 10638                | 10973 | 11054 | 10966 |
| Peso del molde                   | g. 6256                 | 6256  | 6256  | 6256  |
| Peso del suelo húmedo compactado | g. 4382                 | 4717  | 4798  | 4710  |
| Volumen del molde                | cm <sup>3</sup> 2120    | 2120  | 2120  | 2120  |
| Peso del volumen húmedo          | g/cm <sup>3</sup> 2.067 | 2.225 | 2.263 | 2.222 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |                         |       |       |       |
|------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                              | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo húmedo + tara | g. 735.6                | 765.4 | 786.5 | 754.3 |
| Peso del suelo seco + tara   | g. 697.3                | 711.3 | 717.0 | 675.3 |
| Peso de tara                 | g. 0.0                  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Peso de agua                 | g. 38.3                 | 54.1  | 69.5  | 79    |
| Peso de suelo seco           | g. 697.3                | 711.3 | 717   | 675.3 |
| contenido de agua            | % 5.5                   | 7.6   | 9.7   | 11.7  |
| Peso volumétrico seco        | g/cm <sup>3</sup> 1.959 | 2.068 | 2.063 | 1.989 |

|                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>        | <b>2.077 g/cm<sup>3</sup></b> |
| <b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b> | <b>8.50 %</b>                 |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**OBSERVACIONES:**

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 2.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GFOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |       |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |       |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                | wchs. |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR-003/M-3  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 2.5% **FECHA:** 16/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| COMPACTACIÓN              |              |          |              |          |              |          |
|---------------------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
| Nº Molde                  | 7            |          | 8            |          | 9            |          |
| Nº Capa                   | 5            |          | 5            |          | 5            |          |
| Nº Golpes por capa        | 55           |          | 26           |          | 12           |          |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | Sin Saturado | Saturado | Sin Saturado | Saturado | Sin Saturado | Saturado |
| Peso molde + Suelo húmedo | 13348        | 13349    | 13049        | 13068    | 12807        | 12878    |
| Peso de molde (g)         | 8463         | 8463     | 8381         | 8381     | 8453         | 8453     |
| Peso del suelo húmedo (g) | 4885         | 4886     | 4668         | 4687     | 4354         | 4425     |
| Volumen del molde (cc)    | 2169         | 2169     | 2171         | 2171     | 2148         | 2148     |
| Densidad húmeda (g/cc)    | 2.252        | 2.253    | 2.150        | 2.159    | 2.027        | 2.060    |
| % de humedad              | 8.6          | 8.7      | 8.6          | 9.1      | 8.5          | 10.2     |
| Densidad seca (g/cc)      | 2.074        | 2.072    | 1.979        | 1.978    | 1.868        | 1.869    |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tarro Nº                     | -     |       | -     |       | -     |       |
| Tarro + Suelo húmedo ( gr. ) | 687.5 | 645.7 | 758.5 | 684.5 | 743.7 | 658.3 |
| Tarro + Suelo seco ( gr. )   | 633.2 | 593.8 | 698.2 | 627.2 | 685.2 | 597.4 |
| Peso del Agua ( gr. )        | 54.3  | 51.9  | 60.3  | 57.3  | 58.5  | 60.9  |
| Peso del tarro ( gr. )       |       |       |       |       |       |       |
| Peso del suelo seco ( gr. )  | 633   | 593.8 | 698.2 | 627.2 | 685.2 | 597.4 |
| % de humedad                 | 8.6   | 8.7   | 8.6   | 9.1   | 8.5   | 10.2  |
| Promedio de Humedad (%)      | 8.58  | 8.7   | 8.64  | 9.1   | 8.54  | 10.2  |

| EXPANSIÓN  |       |            |      |           |      |      |           |      |      |           |      |
|------------|-------|------------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|
| FECHA      | HORA  | TIEMPO Hr. | DIAL | EXPANSIÓN |      | DIAL | EXPANSIÓN |      | DIAL | EXPANSIÓN |      |
|            |       |            |      | pulg      | %    |      | pulg      | %    |      | pulg      | %    |
| 16/04/2021 | 17.30 | 0          | 0    | 0.000     | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0         | 0    |
| 17/04/2021 | 17.30 | 24         | 8    | 0.003     |      | 13   | 0.005     |      | 17   | 0.007     |      |
| 18/04/2021 | 17.30 | 48         | 21   | 0.008     |      | 27   | 0.011     |      | 28   | 0.011     |      |
| 19/04/2021 | 17.30 | 72         | 29   | 0.011     |      | 31   | 0.012     |      | 37   | 0.015     |      |
| 20/04/2021 | 17.30 | 96         | 29   | 0.011     |      | 31   | 0.012     |      | 37   | 0.015     |      |
|            |       |            | 4.57 | total     | 0.25 | 4.55 | total     | 0.27 | 4.53 | total     | 0.32 |

| PENETRACIÓN |       |               |            |      |            |          |       |            |      |            |          |       |            |      |            |          |      |      |
|-------------|-------|---------------|------------|------|------------|----------|-------|------------|------|------------|----------|-------|------------|------|------------|----------|------|------|
| PENETRACIÓN |       | TIEMPO STAND. | MOLDE Nº 7 |      |            |          |       | MOLDE Nº 8 |      |            |          |       | MOLDE Nº 9 |      |            |          |      |      |
|             |       |               | CARGA      |      | CORRECCIÓN |          |       | CARGA      |      | CORRECCIÓN |          |       | CARGA      |      | CORRECCIÓN |          |      |      |
| mm.         | pulg. |               | Lect.      | Dig. | Kg.        | kg./cm.2 | %     | Lect.      | Dig. | Kg.        | kg./cm.2 | %     | Lect.      | Dig. | Kg.        | kg./cm.2 | %    |      |
| 0.000       | 0.000 | 0'00"         |            |      | 0          | 0        | 0     |            |      | 0          | 0        | 0     |            |      | 0          | 0        | 0    |      |
| 0.640       | 0.025 | 0'30"         |            |      | 174        | 174      | 8.9   |            |      | 133        | 133      | 6.8   |            |      | 71         | 71       | 3.7  |      |
| 1.270       | 0.050 | 1'00"         |            |      | 410        | 410      | 21.0  |            |      | 312        | 312      | 16.0  |            |      | 177        | 177      | 9.1  |      |
| 1.910       | 0.075 | 1'30"         |            |      | 679        | 679      | 34.9  |            |      | 516        | 516      | 26.5  |            |      | 292        | 292      | 15.0 |      |
| 2.540       | 0.100 | 2'00"         | 70.31      |      | 970        | 970      | 49.8  | 73.7       |      | 728        | 728      | 37.4  | 55.8       |      | 398        | 398      | 20.5 | 28.4 |
| 3.170       | 0.125 | 2'30"         |            |      | 1207       | 1207     | 62.0  |            |      | 918        | 918      | 47.1  |            |      | 465        | 465      | 23.9 |      |
| 3.810       | 0.150 | 3'00"         |            |      | 1431       | 1431     | 73.5  |            |      | 1087       | 1087     | 55.8  |            |      | 530        | 530      | 27.2 |      |
| 5.080       | 0.200 | 4'00"         | 105.46     |      | 1736       | 1736     | 89.2  | 84.9       |      | 1314       | 1314     | 67.5  | 64.4       |      | 631        | 631      | 32.4 | 31.3 |
| 7.620       | 0.300 | 6'00"         |            |      | 2197       | 2197     | 112.8 |            |      | 1670       | 1670     | 85.8  |            |      | 789        | 789      | 40.5 |      |
| 10.160      | 0.400 | 8'00"         |            |      | 2583       | 2583     | 132.7 |            |      | 1963       | 1963     | 100.8 |            |      | 870        | 870      | 44.7 |      |
| 12.700      | 0.500 | 10'00"        |            |      | 2860       | 2860     | 146.9 |            |      | 2172       | 2172     | 111.6 |            |      | 929        | 929      | 47.7 |      |

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO  
  
**Willy Choquecota Serrano**  
 Técnico Laboratorista

  
**ENRIQUE GUILLEN AR**  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO  
 Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |       |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2000</b> |       |  |
|                                                                                   | Elaborado por:                                                                                | wehs. |                                                                                     |

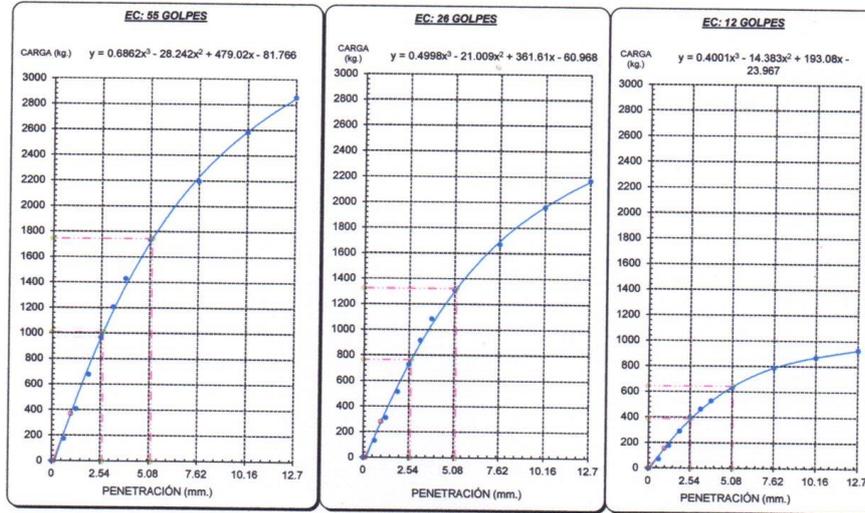
**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.-003/M-3  
**APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**FECHA:** 16/04/2021

**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 2.5%  
**MUESTREO:** ACOPIO

**GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN**



**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

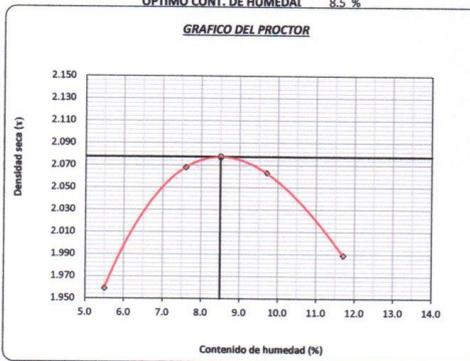
**DATOS DEL PROCTOR**

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| DENSIDAD SECA AL 100%   | 2.077 g./cm <sup>3</sup> |
| DENSIDAD SECA AL 95%    | 1.974 g./cm <sup>3</sup> |
| OPTIMO CONT. DE HUMEDAD | 8.5 %                    |

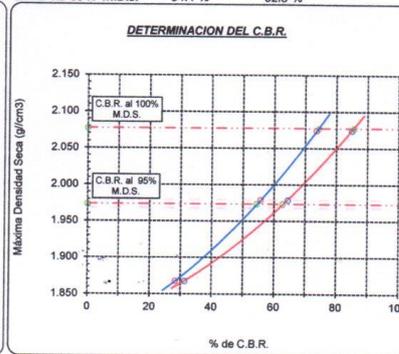
**VALOR DEL C.B.R.**

|                        |          |          |
|------------------------|----------|----------|
|                        | 2.54 cm. | 5.08 cm. |
| C.B.R. AL 100 % M.D.S. | 74.4 %   | 85.6 %   |
| C.B.R. AL 95 % M.D.S.  | 54.4 %   | 62.8 %   |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**DETERMINACION DEL C.B.R.**



**DESCRIPCIÓN O CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL USADO:**

AASHTO: A-2.4(0)  
 SUCS: GP-GC Grava pobremente gradada con arcilla y arena

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 2.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.1993) (GUIA PERUANA INDECOPI G004:

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista

ENRIQUE GUILLEN AR  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GFÓLOGO

Especialista en Suelos y Pavimentos

|                                                                                   |                                                                                                                  |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie <sup>3</sup> ) |               |  |
|                                                                                   | NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115                                                                                   |               |                                                                                     |
| Elaborado Por:                                                                    | wchs.                                                                                                            | Aprobado por: | wchs.                                                                               |

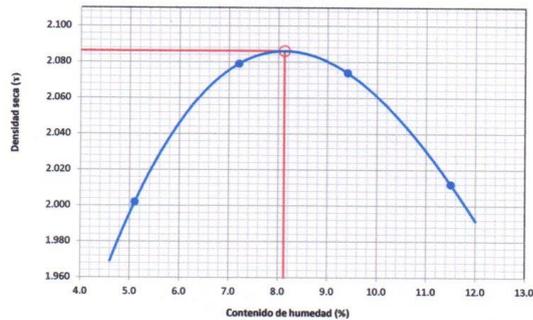
**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.- 004/M-4  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 3.5% **FECHA:** 19/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DE LA COMPACTACIÓN         |                         |       |       |       |
|----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                                  | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo + molde           | g. 10717                | 10981 | 11067 | 11011 |
| Peso del molde                   | g. 6256                 | 6256  | 6256  | 6256  |
| Peso del suelo húmedo compactado | g. 4461                 | 4725  | 4811  | 4755  |
| Volumen del molde                | cm <sup>3</sup> 2120    | 2120  | 2120  | 2120  |
| Peso del volumen húmedo          | g/cm <sup>3</sup> 2.104 | 2.229 | 2.269 | 2.243 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |                         |       |       |       |
|------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                              | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo húmedo + tara | g. 678.5                | 687.5 | 675.6 | 694.3 |
| Peso del suelo seco + tara   | g. 645.6                | 641.3 | 617.6 | 622.7 |
| Peso de tara                 | g. 0.0                  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Peso de agua                 | g. 32.9                 | 46.2  | 58    | 71.6  |
| Peso de suelo seco           | g. 645.6                | 641.3 | 617.6 | 622.7 |
| contenido de agua            | % 5.1                   | 7.2   | 9.4   | 11.5  |
| Peso volumétrico seco        | g/cm <sup>3</sup> 2.002 | 2.079 | 2.074 | 2.012 |

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA        | 2.086 g/cm <sup>3</sup> |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | 8.13 %                  |

GRAFICO DEL PROCTOR



OBSERVACIONES:

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 3.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76979  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |               |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                | Aprobado por: |                                                                                     |
|                                                                                   | whs.                                                                                          | whs.          |                                                                                     |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUÑO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.- 004/M-4

**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

**APLICACIÓN:** AFIRMADO

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 3.5%

**FECHA:** 20/04/2021

**MUESTREO:** ACOPIO

| COMPACTACIÓN                 |              |              |                 |                  |                     |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
|------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|---------------------|------|-----------------|----------------|---------------------|------|------|---|
| Nº Molde                     | 10           |              | 11              |                  | 12                  |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Nº Capa                      | 5            |              | 5               |                  | 5                   |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Nº Golpes por capa           | 55           |              | 26              |                  | 12                  |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| CONDICION DE LA MUESTRA      | Sin Saturado | Saturado     | Sin Saturado    | Saturado         | Sin Saturado        | Saturado         |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso molde + Suelo húmedo    | 12427        | 12448        | 12479           | 12504            | 11987               | 12041            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso de molde (g)            | 7646         | 7646         | 7973            | 7973             | 7708                | 7708             |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso del suelo húmedo (g)    | 4781         | 4802         | 4506            | 4531             | 4279                | 4333             |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Volumen del molde (cc)       | 2119         | 2119         | 2101            | 2101             | 2112                | 2112             |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Densidad húmeda (g/cc)       | 2.256        | 2.266        | 2.145           | 2.157            | 2.026               | 2.052            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| % de humedad                 | 8.2          | 8.5          | 8.3             | 8.9              | 8.2                 | 9.5              |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Densidad seca (g/cc)         | 2.085        | 2.088        | 1.980           | 1.980            | 1.873               | 1.873            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD         |              |              |                 |                  |                     |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Tarro Nº                     | -            | -            | -               | -                | -                   | -                |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Tarro + Suelo húmedo ( gr. ) | 763.4        | 584.6        | 776.7           | 547.1            | 823.4               | 595.3            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Tarro + Suelo seco ( gr. )   | 705.5        | 538.7        | 716.9           | 502.4            | 761.2               | 543.5            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso del Agua ( gr. )        | 57.9         | 45.9         | 59.8            | 44.7             | 62.2                | 51.8             |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso del tarro ( gr. )       | -            | -            | -               | -                | -                   | -                |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Peso del suelo seco ( gr. )  | 706          | 538.7        | 716.9           | 502.4            | 761.2               | 543.5            |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| % de humedad                 | 8.2          | 8.5          | 8.3             | 8.9              | 8.2                 | 9.5              |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| Promedio de Humedad (%)      | 8.21         | 8.5          | 8.34            | 8.9              | 8.17                | 9.5              |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| EXPANSIÓN                    |              |              |                 |                  |                     |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| FECHA                        | HORA         | TIEMPO Hr.   | EXPANSIÓN       |                  | EXPANSIÓN           |                  | EXPANSIÓN       |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
|                              |              |              | DIAL            | EXPANSIÓN pulg % | DIAL                | EXPANSIÓN pulg % | DIAL            | EXPANSIÓN pulg % |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| 20/04/2021                   | 17.30        | 0            | 0               | 0.000 0          | 0                   | 0 0              | 0               | 0 0              |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| 21/04/2021                   | 17.30        | 24           | 7               | 0.003            | 11                  | 0.004            | 16              | 0.006            |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| 22/04/2021                   | 17.30        | 48           | 15              | 0.006            | 21                  | 0.008            | 23              | 0.009            |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| 23/04/2021                   | 17.30        | 72           | 15              | 0.006            | 21                  | 0.008            | 23              | 0.009            |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| 24/04/2021                   | 17.30        | 96           | 15              | 0.006            | 21                  | 0.008            | 23              | 0.009            |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
|                              |              |              | 4.56            | total 0.13       | 4.54                | total 0.18       | 4.57            | total 0.20       |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| PENETRACIÓN                  |              |              |                 |                  |                     |                  |                 |                  |                     |      |                 |                |                     |      |      |   |
| PENETRACIÓN                  | TIEMPO       | CARGA STAND. | MOLDE Nº 10     |                  |                     |                  | MOLDE Nº 11     |                  |                     |      | MOLDE Nº 12     |                |                     |      |      |   |
|                              |              |              | CARGA Lect. Dig | CORRECCIÓN Kg.   | CORRECCIÓN kg./cm.² | %                | CARGA Lect. Dig | CORRECCIÓN Kg.   | CORRECCIÓN kg./cm.² | %    | CARGA Lect. Dig | CORRECCIÓN Kg. | CORRECCIÓN kg./cm.² | %    |      |   |
| 0.000                        | 0.000        | 0'00"        | 0               | 0                | 0                   | 0                | 0               | 0                | 0                   | 0    | 0               | 0              | 0                   | 0    | 0    | 0 |
| 0.640                        | 0.025        | 0'30"        | 196             | 196              | 10.1                | 150              | 150             | 7.7              | 98                  | 98   | 5.0             |                |                     |      |      |   |
| 1.270                        | 0.050        | 1'00"        | 463             | 463              | 23.8                | 352              | 352             | 18.1             | 243                 | 243  | 12.5            |                |                     |      |      |   |
| 1.910                        | 0.075        | 1'30"        | 767             | 767              | 39.4                | 583              | 583             | 30.0             | 400                 | 400  | 20.5            |                |                     |      |      |   |
| 2.540                        | 0.100        | 2'00"        | 70.31           | 1096             | 1096                | 56.3             | 83.3            | 822              | 822                 | 42.2 | 63.0            | 545            | 545                 | 28.0 | 38.8 |   |
| 3.170                        | 0.125        | 2'30"        | 1364            | 1364             | 70.1                | 1037             | 1037            | 53.3             | 636                 | 636  | 32.7            |                |                     |      |      |   |
| 3.810                        | 0.150        | 3'00"        | 1617            | 1617             | 83.0                | 1228             | 1228            | 63.1             | 725                 | 725  | 37.2            |                |                     |      |      |   |
| 5.080                        | 0.200        | 4'00"        | 105.46          | 1962             | 1962                | 100.7            | 96.0            | 1485             | 1485                | 76.3 | 72.8            | 864            | 864                 | 44.4 | 42.9 |   |
| 7.620                        | 0.300        | 6'00"        | 2483            | 2483             | 127.5               | 1888             | 1888            | 96.9             | 1081                | 1081 | 55.5            |                |                     |      |      |   |
| 10.160                       | 0.400        | 8'00"        | 2919            | 2919             | 149.9               | 2219             | 2219            | 114.0            | 1191                | 1191 | 61.2            |                |                     |      |      |   |
| 12.700                       | 0.500        | 10'00"       | 3231            | 3231             | 166.0               | 2455             | 2455            | 126.1            | 1272                | 1272 | 65.3            |                |                     |      |      |   |

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista

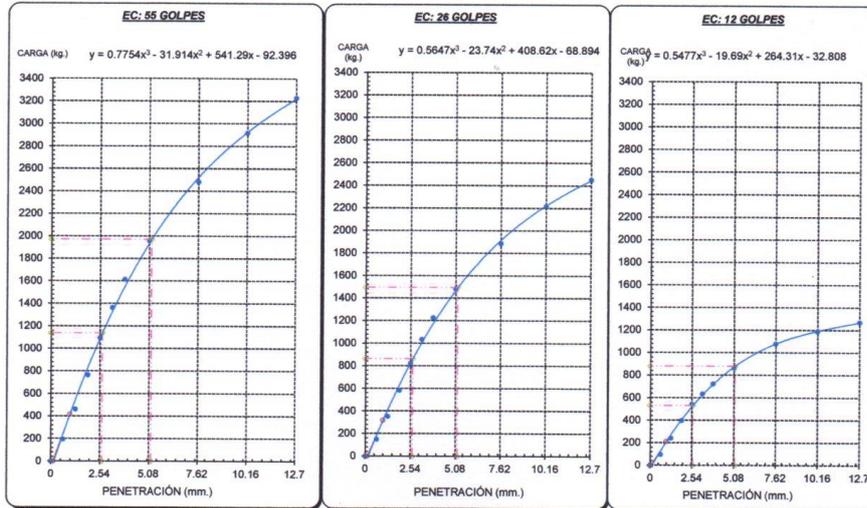


ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                    |      |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC / E 132 / EG 2000</b>    |      |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Elaborado Por:                                                                                     | whs. |                                                                                     |
| <b>TESIS:</b> MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUÑO - 2021.<br><b>SOLICITANTE:</b> BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ<br><b>UBICACIÓN:</b> CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 3.5%<br><b>MUESTREO:</b> ACOPIO | <b>TIPO/COD. MUESTRA:</b> AFR.- 004/M-4<br><b>APLICACIÓN:</b> AFIRMADO<br><b>FECHA:</b> 20/04/2021 |      |                                                                                     |

**GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN**



**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

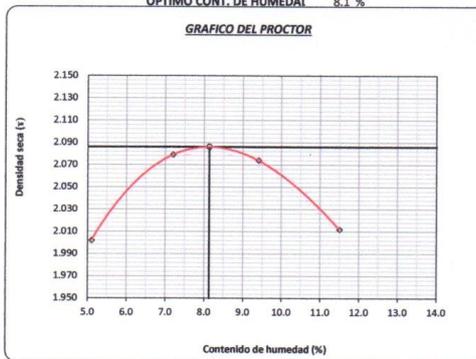
**DATOS DEL PROCTOR**

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| DENSIDAD SECA AL 100%   | 2.086 g./cm <sup>3</sup> |
| DENSIDAD SECA AL 95%    | 1.982 g./cm <sup>3</sup> |
| OPTIMO CONT. DE HUMEDAD | 8.1 %                    |

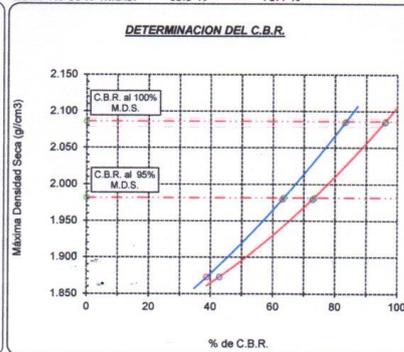
**VALOR DEL C.B.R.**

|                        |          |          |
|------------------------|----------|----------|
|                        | 2.54 cm. | 5.08 cm. |
| C.B.R. AL 100 % M.D.S. | 83.5 %   | 96.2 %   |
| C.B.R. AL 95 % M.D.S.  | 63.5 %   | 73.4 %   |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**DETERMINACION DEL C.B.R.**



DESCRIPCIÓN O CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL USADO:

AASTHO: A-2-4(0)

SUCS: GP-GC Grava pobremente gradada con arcilla y arena

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 3.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.1993) (GUIA PERUANA INDECOPI 6004:

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

**Willy Choquecota Serrano**  
Técnico Laboratorista



**ENRIQUE GUILLEN AR**  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO.

Especialista

|                                                                                   |                                                                                                                       |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie<sup>3</sup>)</b> |               |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115</b>                                                                                 |               |                                                                                     |
| Elaborado Por:                                                                    | wchs.                                                                                                                 | Aprobado por: | wchs.                                                                               |

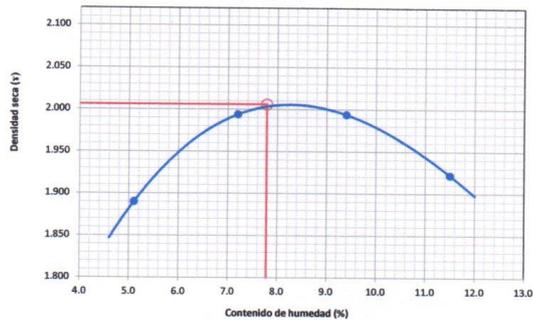
**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR.- 005/M-5  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 4.5% **FECHA:** 19/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| DATOS DE LA COMPACTACIÓN         |                         |       |       |       |
|----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                                  | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo + molde           | g. 10467                | 10789 | 10880 | 10799 |
| Peso del molde                   | g. 6256                 | 6256  | 6256  | 6256  |
| Peso del suelo húmedo compactado | g. 4211                 | 4533  | 4624  | 4543  |
| Volumen del molde                | cm <sup>3</sup> 2120    | 2120  | 2120  | 2120  |
| Peso del volumen húmedo          | g/cm <sup>3</sup> 1.986 | 2.138 | 2.181 | 2.143 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD         |                         |       |       |       |
|------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|                              | 1                       | 2     | 3     | 4     |
| Peso del suelo húmedo + tara | g. 678.5                | 687.5 | 675.6 | 694.3 |
| Peso del suelo seco + tara   | g. 645.6                | 641.3 | 617.6 | 622.7 |
| Peso de tara                 | g. 0.0                  | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Peso de agua                 | g. 32.9                 | 46.2  | 58    | 71.6  |
| Peso de suelo seco           | g. 645.6                | 641.3 | 617.6 | 622.7 |
| contenido de agua            | % 5.1                   | 7.2   | 9.4   | 11.5  |
| Peso volumétrico seco        | g/cm <sup>3</sup> 1.890 | 1.994 | 1.994 | 1.922 |

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA        | 2.006 g/cm <sup>3</sup> |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD | 7.79 %                  |

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**OBSERVACIONES:**

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 4.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI 004: 1993)

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



ENRIQUE GUILLEN AR  
CIP. 76579  
INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                                                               |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b><br><b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |               |  |
|                                                                                   | Elaborado Por:                                                                                | Aprobado por: |                                                                                     |
|                                                                                   | wchs.                                                                                         |               | wchs.                                                                               |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021. **TIPO/COD. MUESTRA:** AFR- 005/M-5  
**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ **APLICACIÓN:** AFIRMADO  
**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 4.5% **FECHA:** 20/04/2021  
**MUESTREO:** ACOPIO

| COMPACTACIÓN                 |              |              |             |           |            |       |              |      |            |           |             |      |            |      |      |
|------------------------------|--------------|--------------|-------------|-----------|------------|-------|--------------|------|------------|-----------|-------------|------|------------|------|------|
| Nº Molde                     | 13           |              |             | 14        |            |       | 15           |      |            |           |             |      |            |      |      |
| Nº Capa                      | 5            |              |             | 5         |            |       | 5            |      |            |           |             |      |            |      |      |
| Nº Golpes por capa           | 55           |              |             | 26        |            |       | 12           |      |            |           |             |      |            |      |      |
| CONDICION DE LA MUESTRA      | Sin Saturado |              |             | Saturado  |            |       | Sin Saturado |      |            | Saturado  |             |      |            |      |      |
| Peso molde + Suelo húmedo    | 12527        |              |             | 12549     |            |       | 12169        |      |            | 12198     |             |      |            |      |      |
| Peso de molde (g)            | 7752         |              |             | 7752      |            |       | 7629         |      |            | 7629      |             |      |            |      |      |
| Peso del suelo húmedo (g)    | 4775         |              |             | 4797      |            |       | 4540         |      |            | 4569      |             |      |            |      |      |
| Volumen del molde (cc)       | 2117         |              |             | 2117      |            |       | 2120         |      |            | 2120      |             |      |            |      |      |
| Densidad húmeda (g/cc)       | 2.256        |              |             | 2.266     |            |       | 2.142        |      |            | 2.155     |             |      |            |      |      |
| % de humedad                 | 7.8          |              |             | 8.2       |            |       | 7.8          |      |            | 8.4       |             |      |            |      |      |
| Densidad seca (g/cc)         | 2.092        |              |             | 2.094     |            |       | 1.987        |      |            | 1.988     |             |      |            |      |      |
| CONTENIDO DE HUMEDAD         |              |              |             |           |            |       |              |      |            |           |             |      |            |      |      |
| Tarro Nº                     | -            |              |             | -         |            |       | -            |      |            | -         |             |      |            |      |      |
| Tarro + Suelo húmedo ( gr. ) | 683.1        |              |             | 759.4     |            |       | 647.4        |      |            | 764.2     |             |      |            |      |      |
| Tarro + Suelo seco ( gr. )   | 633.6        |              |             | 701.8     |            |       | 600.6        |      |            | 705.0     |             |      |            |      |      |
| Peso del Agua ( gr. )        | 49.5         |              |             | 57.6      |            |       | 46.8         |      |            | 59.2      |             |      |            |      |      |
| Peso del tarro ( gr. )       | -            |              |             | -         |            |       | -            |      |            | -         |             |      |            |      |      |
| Peso del suelo seco ( gr. )  | 634          |              |             | 701.8     |            |       | 600.6        |      |            | 705       |             |      |            |      |      |
| % de humedad                 | 7.8          |              |             | 8.2       |            |       | 7.8          |      |            | 8.4       |             |      |            |      |      |
| Promedio de Humedad (%)      | 7.81         |              |             | 8.2       |            |       | 7.79         |      |            | 8.4       |             |      |            |      |      |
| EXPANSIÓN                    |              |              |             |           |            |       |              |      |            |           |             |      |            |      |      |
| FECHA                        | HORA         | TIEMPO Hr.   | DIAL        | EXPANSIÓN |            | DIAL  | EXPANSIÓN    |      | DIAL       | EXPANSIÓN |             |      |            |      |      |
|                              |              |              |             | pulg      | %          |       | pulg         | %    |            | pulg      | %           |      |            |      |      |
| 20/04/2021                   | 17.30        | 0            | 0           | 0.000     | 0          | 0     | 0            | 0    | 0          | 0         | 0           |      |            |      |      |
| 21/04/2021                   | 17.30        | 24           | 9           | 0.004     |            | 13    | 0.005        |      | 13         | 0.005     |             |      |            |      |      |
| 22/04/2021                   | 17.30        | 48           | 10          | 0.004     |            | 17    | 0.007        |      | 19         | 0.007     |             |      |            |      |      |
| 23/04/2021                   | 17.30        | 72           | 10          | 0.004     |            | 17    | 0.007        |      | 19         | 0.007     |             |      |            |      |      |
| 24/04/2021                   | 17.30        | 96           | 10          | 0.004     |            | 17    | 0.007        |      | 19         | 0.007     |             |      |            |      |      |
|                              |              |              | 4.57        | total     | 0.09       | 4.56  | total        | 0.15 | 4.56       | total     | 0.16        |      |            |      |      |
| PENETRACIÓN                  |              |              |             |           |            |       |              |      |            |           |             |      |            |      |      |
| PENETRACIÓN                  | TIEMPO       | CARGA STAND. | MOLDE Nº 13 |           |            |       | MOLDE Nº 14  |      |            |           | MOLDE Nº 15 |      |            |      |      |
|                              |              |              | CARGA       |           | CORRECCIÓN |       | CARGA        |      | CORRECCIÓN |           | CARGA       |      | CORRECCIÓN |      |      |
| mm.                          | pulg.        | kg./cm.2     | Lect. Dig   | Kg.       | kg./cm.2   | %     | Lect. Dig    | Kg.  | kg./cm.2   | %         | Lect. Dig   | Kg.  | kg./cm.2   | %    |      |
| 0.000                        | 0.000        | 0'00"        | 0           | 0         | 0          |       | 0            | 0    | 0          |           | 0           | 0    | 0          |      |      |
| 0.640                        | 0.025        | 0'30"        | 203         | 203       | 10.4       |       | 155          | 155  | 7.9        |           | 110         | 110  | 5.7        |      |      |
| 1.270                        | 0.050        | 1'00"        | 478         | 478       | 24.5       |       | 364          | 364  | 18.7       |           | 284         | 284  | 14.6       |      |      |
| 1.910                        | 0.075        | 1'30"        | 792         | 792       | 40.7       |       | 602          | 602  | 30.9       |           | 468         | 468  | 24.0       |      |      |
| 2.540                        | 0.100        | 2'00"        | 70.31       | 1132      | 1132       | 58.1  | 86.0         | 849  | 849        | 43.6      | 65.1        | 638  | 638        | 32.8 | 45.5 |
| 3.170                        | 0.125        | 2'30"        |             | 1409      | 1409       | 72.4  |              | 1070 | 1070       | 55.0      |             | 744  | 744        | 38.2 |      |
| 3.810                        | 0.150        | 3'00"        |             | 1669      | 1669       | 85.7  |              | 1268 | 1268       | 65.1      |             | 848  | 848        | 43.6 |      |
| 5.080                        | 0.200        | 4'00"        | 105.46      | 2026      | 2026       | 104.0 | 99.1         | 1533 | 1533       | 78.7      | 75.1        | 1011 | 1011       | 51.9 | 50.2 |
| 7.620                        | 0.300        | 6'00"        |             | 2564      | 2564       | 131.7 |              | 1948 | 1948       | 100.1     |             | 1264 | 1264       | 64.9 |      |
| 10.160                       | 0.400        | 8'00"        |             | 3014      | 3014       | 154.8 |              | 2290 | 2290       | 117.6     |             | 1394 | 1394       | 71.6 |      |
| 12.700                       | 0.500        | 10'00"       |             | 3337      | 3337       | 171.4 |              | 2534 | 2534       | 130.1     |             | 1488 | 1488       | 76.4 |      |

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO  
  
 Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista

  
 ENRIQUE GUILLEN AR  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GEOLOGO

Especialista

|                                                                                   |                                                 |               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b>      |               |  |
|                                                                                   | <b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2013</b> |               |                                                                                     |
| Elaborado Por:                                                                    | wcha.                                           | Aprobado por: | wcha.                                                                               |

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO EL ACEITE RESIDUAL DE VEHICULOS MOTORIZADOS EN LA CARRETERA PLATERIA - PERKA, PUNO - 2021.

**TIPO/COD. MUESTRA:** AFR - 005/M-5

**SOLICITANTE:** BR. JALANOCA CCAMA FREYRE VELIZ

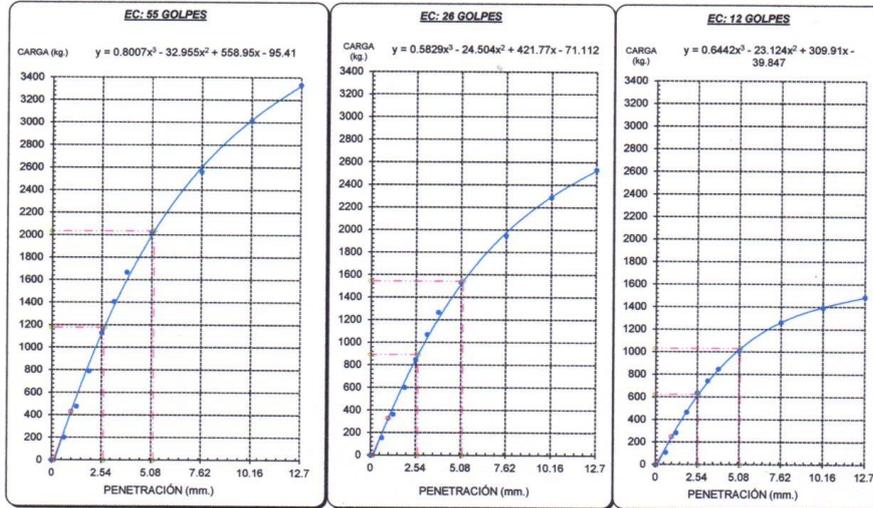
**APLICACIÓN:** AFIRMADO

**UBICACIÓN:** CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 4.5%

**FECHA:** 20/04/2021

**MUESTREO:** ACOPIO

**GRAFICO CARGA - PENETRACION**



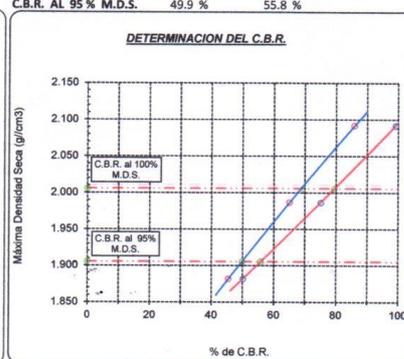
**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA AL 100% 2.006 g/cm<sup>3</sup>  
 DENSIDAD SECA AL 95% 1.906 g/cm<sup>3</sup>  
 OPTIMO CONT. DE HUMEDAD 7.8 %

**VALOR DEL C.B.R.**

2.54 cm. 5.08 cm.  
 C.B.R. AL 100 % M.D.S. 69.4 % 79.5 %  
 C.B.R. AL 95 % M.D.S. 49.9 % 55.8 %



DESCRIPCIÓN O CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL USADO:  
 AASTHO: A-2-4(0)  
 SUCS: GP-GC Grava pobremente gradada con arcilla y arena

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del CANTERA UBICADO KM. 06+700 L/D - Muestra Patrón, Aceite residual al 4.5%
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.1993) (GUIA PERUANA INDECOPI G004:

CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

*Willy Choquecota Serrano*  
 Willy Choquecota Serrano

Técnico Laboratorista



*Enrique Guillen Ar.*  
 ENRIQUE GUILLEN AR  
 CIP. 76579  
 INGENIERO GFOLOGO

Especialista

# ANEXO 05: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN


**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
 Equipos para Laboratorio  
 de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
 TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
 DE ACREDITACIÓN INACAL**  
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**N° 0220315**

Página 1 de 2

**Expediente** : 2020-295  
**Fecha de Emisión** : 2020-10-12

**1. SOLICITANTE** : CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO  
**DIRECCIÓN** : Av. Benavides Nro. 1555 Int. 703 - Miraflores - Lima

**2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : Prensa CBR con Sistema Digital  
**Prensa**  
**Marca** : No indica  
**Modelo** : No indica  
**Número de Serie** : 002/F600332

**Celda de Carga**  
**Marca** : MAVIN  
**Modelo** : N54-5T  
**Número de Serie** : F600332  
**Capacidad** : 5 TN

**Indicador digital**  
**Marca** : No indica  
**Modelo** : No indica  
**Número de Serie** : No indica  
**Unidad** : kg

**Procedencia** : No indica  
**Identificación** : No indica  
**Ubicación** : Campo (\*\*)

**3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN**  
**Fecha** : 2020-10-02  
**Lugar** : Instalaciones del Cliente

**4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**  
 El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-01 y la Norma NTP ISO/IEC 17025:2017. Se aplicaron tres series de carga a la celda mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

**5. CONDICIONES AMBIENTALES**

|                      | Inicial | Final |
|----------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C)     | 18,4    | 18,7  |
| Humedad Relativa (%) | 38      | 39    |



**Sello**

**Laboratorio de Metrología**



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
 Tco. PAUL FAVIO SOUZA PIZANGO  
 JEFE DE LABORATORIO METROLOGÍA



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
 Ing. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA  
 CIP. 64442  
 JEFE DE LABORATORIO

FEI-02

Rev00

Elaborado:AJPM

Revisado:EASP

Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA  
 Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
Equipos para Laboratorio  
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0220315**

Página 2 de 2

**6. TRAZABILIDAD**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad                             | Patrón utilizado    | Certificado de Calibración |
|------------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ | Celda de Carga 5 TN | INF-LE N° 255-19           |
| INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD            | Termohigrómetro     | LT-098-2018                |

**7. OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".

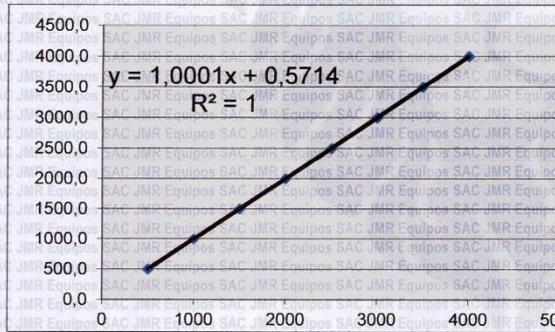
(\*\*) PROYECTO: Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Pro Región Puno - Paquete 04: PE-34U, PE-3ST, PE-3SU, PE-36E, PE-36F Y PE-38B.

**8. RESULTADO DE MEDICIÓN**

TABLA N° 01

| SISTEMA DIGITAL | SERIES DE VERIFICACIÓN |           |           |           | PROMEDIO | ERROR       | RPTBLD |
|-----------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------|--------|
| "A"             | Serie (1)              | Serie (2) | Error (1) | Error (2) | "B"      | Ep          | Rp     |
| kg              | kg                     | kg        | %         | %         | kg       | %           | %      |
| 500             | 500,2                  | 500,1     | 0,04      | 0,02      | 500,2    | 0,03        | 0,0    |
| 1000            | 1001,1                 | 1001,1    | 0,11      | 0,11      | 1001,1   | 0,11        | 0,0    |
| 1500            | 1501,2                 | 1501,2    | 0,08      | 0,08      | 1501,2   | 0,08        | 0,0    |
| 2000            | 2001,0                 | 2001,0    | 0,05      | 0,05      | 2001,0   | 0,05        | 0,0    |
| 2500            | 2500,0                 | 2500,1    | 0         | 0         | 2500,1   | 0,002       | 0,0    |
| 3000            | 3000,5                 | 3001,1    | 0,02      | 0,04      | 3000,8   | 0,026666667 | 0,0    |
| 3500            | 3501,1                 | 3501,1    | 0,03      | 0,03      | 3501,1   | 0,031428571 | 0,0    |
| 4000            | 4001,0                 | 4001,2    | 0,03      | 0,03      | 4001,1   | 0,0275      | 0,0    |

GRAFICO N° 01



**NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN**

1. - La Calibración se hizo según el Método C de la norma ASTM E4-01.
2. - Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = Error(2) - Error(1)$$
3. - La norma exige que Ep y Rp no excedan  $\pm 1.0\%$ .

Coefficiente Correlación:  
 $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste:  
 $y = 1,0001x + 0,5714$

x : Lectura de la pantalla (kg)  
y : Fuerza promedio (kg)

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tec. PAUL FAVIO SOLUZA PIZANGO  
JEFE DE LABORATORIO METROLOGÍA



JMR EQUIPOS S.A.C.

ING. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA  
CIP: 36447  
JEFE DE LABORATORIO

FEI-02

Rev00

Elaborado:AJPM

Revisado:EASP

Aprovado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA - LIMA

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

**PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO**



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
Equipos para Laboratorio  
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**N° 2220315**

Página 1 de 1

Expediente : 2020-295  
Fecha de Emisión : 2020-10-12

1. SOLICITANTE : CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

DIRECCIÓN : Av. Benavides Nro. 1555 Int. 703 - Miraflores -  
Lima

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MOLDE PRÓCTOR 6 IN

Marca : No indica  
Modelo : No indica  
Número de Serie : No indica  
Estructura : Metálico  
Acabado : Zincado  
Procedencia : PERÚ  
Identificación : 015  
Ubicación : Campo (\*\*)

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

Fecha : 2020-10-02  
Lugar : Instalaciones del Cliente

4. MÉTODO Y TRAZABILIDAD

Método: La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL.  
Trazabilidad: Equipo con Certificado de Calibración N° MS-0223-2018 de METROSYSTEMS.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

|                      | Inicial | Final |
|----------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C)     | 17,5    | 16,8  |
| Humedad Relativa (%) | 39      | 40    |

6. OBSERVACIONES

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".

(\*\*) PROYECTO: Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Pro Región Puno - Paquete 04: PE-34U, PE-3ST, PE-3SU, PE-36E, PE-36F y PE-38B.

7. RESULTADOS

|                          | Promedio                           | Mediciones                                              |        |        |        |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Díámetro Interior Medido | 152,21                             | 152,22                                                  | 152,20 | 152,20 | 152,22 |
|                          | OK                                 | Díámetro Especificado: 152.4 ± 0.66 mm (6 ± 0.026 in)   |        |        |        |
|                          |                                    | Mediciones                                              |        |        |        |
| Altura Medido            | 116,62                             | 116,63                                                  | 116,63 | 116,61 | 116,62 |
|                          | OK                                 | Altura Especificado: 116.43 ± 0.5 mm (4.584 ± 0.018 in) |        |        |        |
| Volumen                  | 2122,07                            | CC OK                                                   |        |        |        |
|                          | Volumen Especificado: 2124 ± 25 cc |                                                         |        |        |        |

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS S.A.C.



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tco. PAUL FAVIO SOUZA PIZANGO  
JEFE DE LABORATORIO METROLOGIA

Ing. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA  
CIP: 6442  
JEFE DE LABORATORIO

FEI-22 Rev00 Elaborado:AJPM Revisado:EASP Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA - LIMA

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

**PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO**



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
Equipos para Laboratorio  
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**N° 2120315**

Página 1 de 1

Expediente : 2020-295  
Fecha de Emisión : 2020-10-12

1. SOLICITANTE : CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO

DIRECCIÓN : Av. Benavides Nro. 1555 Int. 703 - Miraflores -  
Lima

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MARTILLO PROCTOR MODIFICADO 10 LBS

Marca : No indica  
Modelo : No indica  
Número de Serie : 143  
Estructura : Metálico  
Acabado : Zincado  
Procedencia : PERÚ  
Identificación : 025  
Ubicación : Campo (\*\*)

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

Fecha : 2020-10-02  
Lugar : Instalaciones del Cliente

4. MÉTODO Y TRAZABILIDAD

Método: La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta Ed. 2012., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL y la Norma ASTM D 1557 y MTC E 115 Compactación de Suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie<sup>3</sup> [2 700 kN-m/m<sup>3</sup>]).  
Trazabilidad: Equipo con Certificado de Calibración N° MS-0223-2018 de METROSYSTEMS y L-0387-2018 de METROIL.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

|                      | Inicial | Final |
|----------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C)     | 16,8    | 17,5  |
| Humedad Relativa (%) | 39      | 39    |

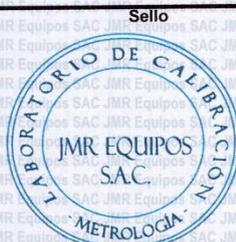
6. OBSERVACIONES

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".

(\*\*) PROYECTO: Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Pro Región Puno - Paquete 04: PE-34U, PE-3ST, PE-3SU, PE-36E, PE-36F y PE-38B.

7. RESULTADOS

|                      | Promedio     | Mediciones                         |        |        |        |
|----------------------|--------------|------------------------------------|--------|--------|--------|
| Peso Martillo (g)    | 4535<br>OK   | 4535                               | 4535   | 4535   | 4535   |
|                      |              | Peso especificado: 4536 ± 9        |        |        |        |
| Ø Cara Impacto (mm)  | 50,68<br>OK  | 50,68                              | 50,68  | 50,68  | 50,68  |
|                      |              | Diámetro especificado: 50,8 ± 0,13 |        |        |        |
| Altura de Caída (mm) | 457,00<br>OK | 457,00                             | 457,00 | 457,00 | 457,00 |
|                      |              | Altura Especificado: 457,2 ± 1,6   |        |        |        |



Sello

Laboratorio de Metrología

JMR EQUIPOS S.A.C.



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tcc. PAUL FAVIO SOLUZA PIZANGO  
JEFE DE LABORATORIO METROLOGÍA

Ing. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA  
DIP 8442  
JEFE DE LABORATORIO

FEI-21 Rev00 Elaborado:AJPM Revisado:EASP Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA - LIMA

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

**PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO**



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
Equipos para Laboratorio  
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° 1820315**

Página 1 de 2

Expediente : 2020-295  
Fecha de Emisión : 2020-10-12  
1. SOLICITANTE : CONSORCIO SUPERVISOR PALERMO  
DIRECCIÓN : Av. Benavides Nro. 1555 Int. 703 - Miraflores - Lima

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : COPA CASAGRANDE - LÍMITE LÍQUIDO  
Marca : FORNEY  
Modelo : No indica  
Número de Serie : 057  
Mecanismo : Manual  
Ranurador : Acero Inox  
Contador : Analógico  
Procedencia : USA  
Identificación : No indica  
Ubicación : Campo (\*\*)

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

**LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN**

Fecha : 2020-10-02  
3. Lugar : Instalaciones del Cliente

JMR EQUIPOS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**

La calibración de efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 5ta. Ed., "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de la Calidad - INACAL y la Norma del MTC 110.

**5. CONDICIONES AMBIENTALES**

|                      | Inicial | Final |
|----------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C)     | 18,2    | 18,5  |
| Humedad Relativa (%) | 39      | 39    |

**6. TRAZABILIDAD**

| Trazabilidad                  | Patrón utilizado     | Certificado de Calibración |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|
| METROSYSTEMS                  | Vernier (Pie de rey) | MS-0223-2018               |
| INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD | Termohigrómetro      | LT-098-2018                |

**7. OBSERVACIONES**

- Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "Calibrado".
- El contador analógico debe ser ajustado antes de cada uso.

(\*\*) PROYECTO: Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Pro Región Puno - Paquete 04: PE-34U, PE-3ST, PE-3SU, PE-36E, PE-36F Y PE-38B.

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS S.A.C.  
Tco. PAUL FAVIO SOUZA P. ZANCO  
JEFE DE LABORATORIO METROLOGIA

JMR EQUIPOS S.A.C.  
Ing. ANGEL HUGO VILCHEZ PENA  
CIP. 84442  
JEFE DE LABORATORIO

FEI-18 Rev00 Elaborado:AJPM Revisado:EASP Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA - LIMA - LIMA

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

**PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO**



**JMR EQUIPOS S.A.C.**  
Equipos para Laboratorio  
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON  
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO  
DE ACREDITACIÓN INACAL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1820315**

Página 2 de 2

**8. RESULTADO DE MEDICIÓN**

| Dimensiones       | Aparato de Límite Líquido |                    |                        |                                               | Ranurador |       |                 |         |                |       |
|-------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-------|-----------------|---------|----------------|-------|
|                   | Conjunto de la Cazuela    |                    |                        | Base                                          |           |       | Extremo Curvado |         |                |       |
|                   | A                         | B                  | C                      | N                                             | K         | L     | M               | a       | b              | c     |
| Descripción       | Radio de la Copa          | Espesor de la Copa | Profundidad de la Copa | Copa desde la guía del elevador hasta la base | Espesor   | Largo | Ancho           | Espesor | Borde Cortante | Ancho |
| Métrico, mm       | 54                        | 2,0                | 27                     | 47                                            | 50        | 150   | 125             | 10,0    | 2,0            | 13,5  |
| Tolerancia, mm    | 2                         | 0,1                | 1                      | 1,5                                           | 5         | 5     | 5               | 0,1     | 0,1            | 0,1   |
| Inglés, pulg.     | 2,13                      | 0,079              | 1,063                  | 1,850                                         | 1,97      | 5,90  | 4,92            | 0,394   | 0,079          | 0,531 |
| Tolerancia, pulg. | 0,08                      | 0,004              | 0,4                    | 0,6                                           | 0,2       | 0,2   | 0,2             | 0,004   | 0,004          | 0,004 |

|                           | Dato Promedio (mm) | Tolerancia (mm) | Resultados      |
|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Cazuela</b>            |                    |                 |                 |
| Espesor                   | 2,09               | ± 0,1           | OK              |
| Profundidad               | 27,84              | ± 1             | OK              |
| <b>Base</b>               |                    |                 |                 |
| Guía del elevador         | 45,53              | ± 1,5           | OK              |
| Espesor                   | 49,80              | ± 5             | OK              |
| Largo                     | 150,20             | ± 5             | OK              |
| Ancho                     | 124,89             | ± 5             | OK              |
| Huella                    | 6,00               | < 13            | OK              |
| <b>Ranurador de Acero</b> |                    |                 |                 |
| Cuadrado Calibrador       | 9,80               | ± 0,2           | OK              |
| Espesor                   | 9,83               | ± 0,1           | FUERA DE MEDIDA |
| Borde Cortante            | 2,02               | ± 0,1           | OK              |
| Ancho                     | 12,71              | ± 0,1           | FUERA DE MEDIDA |

(Fin del documento)

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS S.A.C.



JMR EQUIPOS S.A.C.

Tco. PAUL FAVIO SOLUZA PIZANGO  
JEFE DE LABORATORIO METROLOGIA

Ing. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA  
JEFE DE LABORATORIO

FEI-18

Rev00

Elaborado:AJPM

Revisado:EASP

Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

**PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO**