



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estabilización de la base del pavimento rígido incorporando
nanoplaquetas de beterraga azucarera - Vía Agua Buena -
Willkarpay, Cusco, 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Monzon Condori, Jose Alfredo (orcid.org/0000-0001-6087-6547)

ASESOR:

Mg. Pinto Barrantes, Raul Antonio (orcid.org/0000-0002-9573-0182)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

Dedicado a mis padres, por todo el apoyo y aliento de superación que me vienen brindando en el transcurso de mi formación personal y mi formación profesional como futuro ingeniero. A mi hermana Saby, por su constante apoyo y respaldo desde el primer día de inicio de esta maravillosa etapa de formación académica profesional.

Agradecimiento

A mis padres, por exigirme siempre a lograr mis objetivos, ser una mejor persona y por todos los valores y principios inculcados en mi desarrollo personal y preprofesional, para poder alcanzar el éxito en todo momento. A mi casa de estudio, por haberme acogido de la mejor manera para poder continuar con mi formación académica profesional, brindándome todas las facilidades sin ninguna restricción.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MARCO TEÓRICO	14
III. METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo y diseño de investigación	31
3.2. Variables y operacionalización	31
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.5. Procedimientos.....	37
3.6. Método de análisis de datos.....	55
3.7. Aspectos éticos	56
IV. RESULTADOS.....	57
V. DISCUSIÓN.....	71
VI. CONCLUSIONES	75
VII. RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Características físicas principales de las NPB	20
Tabla 2. <i>Características físicas secundarias de las NPB</i>	20
Tabla 3. <i>Comparación entre capas de pavimentos</i>	25
Tabla 4. <i>Gradación para base granular</i>	27
Tabla 5. <i>CBR para base granular</i>	28
Tabla 6. <i>Agregado grueso para base granular</i>	28
Tabla 7. <i>Agregado fino para base granular</i>	29
Tabla 8. <i>Dosificación de muestras para análisis granulometría del suelo natural</i> .	34
Tabla 9. <i>Dosificación de muestras para análisis granulometría del agregado obtenido de cantera</i>	34
Tabla 10. <i>Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del suelo natural</i>	34
Tabla 11. <i>Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del agregado obtenido de cantera</i>	35
Tabla 12. <i>Dosificación de muestras para ensayo de próctor modificado del suelo natural</i>	35
Tabla 13. <i>Dosificación de muestras para ensayo de próctor modificado del agregado obtenido de cantera</i>	35
Tabla 14. <i>Dosificación de muestras para ensayo CBR del suelo natural</i>	36
Tabla 15. <i>Dosificación de muestras para ensayo CBR del agregado obtenido de cantera</i>	36
Tabla 16. <i>Resultados del análisis de granulometría del suelo natural</i>	60
Tabla 17. <i>Resultados del análisis de granulometría del agregado obtenido de cantera</i>	60
Tabla 18. <i>Resultados del ensayo de límite líquido del suelo natural</i>	61
Tabla 19. <i>Resultados del ensayo de límite líquido del agregado obtenido de cantera</i>	61
Tabla 20. <i>Resultados del ensayo de límite plástico del suelo natural</i>	61
Tabla 21. <i>Resultados del ensayo de límite plástico del agregado obtenido de cantera</i>	61
Tabla 22. <i>Resultados del índice de plasticidad del suelo natural</i>	62
Tabla 23. <i>Resultados del índice de plasticidad del agregado obtenido de cantera</i>	62

Tabla 24. Resultados del ensayo de próctor modificado del suelo natural.....	65
Tabla 25. Resultados del ensayo de próctor modificado del agregado obtenido de cantera	65
Tabla 26. Resumen del ensayo de CBR en laboratorio del suelo natural	67
Tabla 27. Resumen del ensayo de CBR en laboratorio del agregado obtenido de cantera	68
Tabla 28. Resumen del diseño estructural de la carpeta de rodadura	69

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Solución NPB	20
Figura 2. Capas de un pavimento rígido	24
Figura 3. Losa de pavimento rígido	24
Figura 4. Material granular para base	27
Figura 5. Ensayos de laboratorio.....	28
Figura 6. Extracción de material de cantera.....	38
Figura 7. Extracción de material de cantera.....	38
Figura 8. Extracción de material – calicata C1	39
Figura 9. Extracción de material – calicata C2	40
Figura 10. Extracción de material – calicata C3	40
Figura 11. Cuarteo de material in situ	41
Figura 12. Plano de calicatas elaboradas en los puntos más críticos	42
Figura 13. Perfil estratigráfico de la calicata C1	43
Figura 14. Perfil estratigráfico de la calicata C2	44
Figura 15. Perfil estratigráfico de la calicata C3	45
Figura 16. Beterraga azucarera.....	46
Figura 17. Nanoplaquetas de beterraga azucarera en polvo	46
Figura 18. Ensayo de granulometría por tamizado del suelo natural	48
Figura 19. Ensayo de granulometría por tamizado del agregado de cantera	48
Figura 20. Ensayo de índice de plasticidad del suelo natural.....	49
Figura 21. Ensayo de índice de plasticidad del agregado de cantera	50
Figura 22. Ensayo de Proctor modificado del suelo natural	51
Figura 23. Ensayo de Proctor modificado del agregado de cantera.....	51
Figura 24. Ensayo de CBR del agregado de cantera	53
Figura 25. Plano de ubicación	57
Figura 26. Curva granulométrica – calicata C1	58
Figura 27. Curva granulométrica – calicata C2	58
Figura 28. Curva granulométrica – calicata C3	59
Figura 29. Curva granulométrica – agregado obtenido de cantera	59
Figura 30. Resultados de plasticidad	62
Figura 31. Curva humedad-densidad de la muestra más representativa	64
Figura 32. Resultados de máxima densidad seca.....	66

Figura 33. Curvas esfuerzo - penetración	67
Figura 34. Resultados de capacidad resistente.....	68
Figura 35. Resultados de diseño estructural	70

Resumen

La patología en los pavimentos, así como en el concreto es el estudio sistemático de las características de los defectos y los daños que afectan al correcto desempeño y durabilidad. El diseño de pavimentos tiene como componente importante una base adecuadamente estabilizada que permita que su desempeño sea el requerido, cumpliendo con los parámetros de funcionalidad y estándares de serviciabilidad y confortos requeridos de un pavimento rígido. Entre las patologías observadas en un pavimento rígido están las fisuras que suelen ser de origen químico, y la exposición a la excesiva humedad por la presencia de mayor cantidad de poros, esto desemboca en una mayor vulnerabilidad de la estructura y la disminución de su vida útil es por ello que se realiza la investigación intitulada “Estabilización de la base del pavimento rígido incorporando nanoplaquetas de beterraga azucarera - Vía Agua Buena - Willkarpay, Cusco, 2022”

Como objetivo se busca mayor estabilidad a la base del pavimento rígido y por lo tanto a la estructura misma del pavimento, analiza las propiedades adicionales que brinda la incorporación de la nanoplaquetas de la beterraga azucarera, para ello se propuso la adición de nanoplaquetas de productos vegetales orgánicos que incrementan los valores de resistencia en el concreto, brindando mayor estabilidad y durabilidad, a su vez contribuye con la reducción de desechos orgánicos en el medio ambiente.

Palabras clave: Nanoplaquetas, beterraga azucarera, estabilización, pavimentos.

Abstract

The pathology in the pavements, as well as in the concrete, is the systematic study of the characteristics of the defects and the damages that affect the correct performance and durability. Pavement design has as an important component a properly stabilized base that allows its performance to be as required, complying with the functionality parameters and standards of serviceability and comfort required of a rigid pavement. Among the pathologies observed in a rigid pavement are cracks that are usually of chemical origin, and exposure to excessive humidity due to the presence of a greater number of pores, this leads to a greater vulnerability of the structure and a decrease in its useful life. That is why the research entitled "Stabilization of the base of rigid pavement incorporating sugar beet nanoplatelets - Vía Agua Buena - Willkarpay, Cusco, 2022" is carried out.

As an objective, greater stability is sought at the base of the rigid pavement and therefore to the structure of the pavement itself, it analyzes the additional properties provided by the incorporation of the nanoplatelets of the sugar beet, for this purpose the addition of nanoplatelets of plant products was proposed. organics that increase the resistance values in the concrete, providing greater stability and durability, in turn contributing to the reduction of organic waste in the environment.

Keywords: nanoplatelets, sugar beet, stabilization, pavements.

I. INTRODUCCIÓN

Las áreas con mucho tráfico y precipitaciones constantes a lo largo de las cuatro estaciones afectan las condiciones y la degradación de las carreteras, lo que requiere soluciones alternativas para evitar la congestión del tráfico y aguantar el incremento poblacional. Las patologías de los pavimentos de concreto simple se produce por esfuerzos, deformaciones y desplazamientos provocados por el tráfico, la temperatura y la humedad del subsuelo. La variación de temperatura del pavimento ocasionado por los cambios climatológicos a lo largo del día crea tensiones en las losas de concreto y causan deterioro. Un cambio de temperatura uniforme dentro de la losa produce fricción entre la losa y la cimentación, mientras que los gradientes de temperatura a lo largo del espesor producen pandeo. (Tejeda et al. 2021, p. 69)

La deformación vertical causada por la falla por desecación de la subrasante arcillosa y las grietas generadas por este fenómeno provocan un sistema de soporte discontinuo en la capa inferior del suelo de la estructura del pavimento considerando un modelo de diseño de soporte continuo. (Orduz Duarte y Pineda Jaimes 2017) Las carreteras juegan un papel indispensable como infraestructura social. Las demandas actuales de calidad, seguridad y comodidad para viajar en ciudades grandes y pequeñas están conduciendo a una expansión masiva de las redes viales. La importancia internacional y regional de las carreteras requiere una adecuada investigación, evaluación y planificación durante su diseño, construcción de nueva infraestructura, mejora o reconstrucción de la infraestructura existente y gestión de carreteras; esta evaluación vial incluye una evaluación técnica, funcional y estructural. (Pucha Aguinsaca y Zárate Torres 2020)

Todos estos aspectos también ocurren en muchos tramos y vías a lo largo de la ciudad y el país lo cual nos realza el interés de buscar una solución de estabilización de la base de estas vías de pavimento rígido, haciendo uso de aditivos que también sean eco-amigables, ya que es otro factor que aqueja mucho hoy en día y concierne a toda la población ser parte de buscar alternativas que no contaminen.

Teniendo en cuenta ello, se plantea como problema general: ¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la

estabilización de la base de un pavimento rígido? y como problemas específicos se tiene que: ¿Cuál será la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido?, ¿de qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la plasticidad de la base de un pavimento rígido?, ¿de qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la máxima densidad seca de la base de un pavimento rígido?, ¿de qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la capacidad resistente de la base de un pavimento rígido? y ¿de qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en el resultado del diseño estructural del pavimento rígido?

En base a la problemática establecida, se tiene como variables de estudio: Nanoplaquetas de beterraga azucarera (Variable Independiente), las cuales se obtienen al llevar a cabo una Síntesis de la beterraga con hidróxido de potasio, cuyas propiedades incrementan la capacidad resistente del suelo y reducen la emisión del CO₂ en un 40%; por otro lado, tenemos la estabilización de base (Variable dependiente), el cual conlleva a la mejora de esta capa del pavimento rígido.

De esta forma, se tiene como justificación teórica el hecho de que al utilizar las nanoplaquetas se estaría realizando un complemento teórico hacia los métodos tradicionales de estabilización que se aplican; una justificación práctica debido a que se evidenciará el proceso de mejora de estabilidad mediante los resultados numéricos de los ensayos a realizarse, solucionando el problema de estabilidad de esta vía pavimentada; una justificación metodológica ya que es una nueva forma de estabilizar un suelo, una justificación social ya que se beneficiarán los pobladores y vehículos que transitan por la zona y por último una justificación ambiental debido a que las nanoplaquetas son un aditivo eco amigable capaz de reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 40%.

Se ha establecido como objetivo general: Determinar la influencia de la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la estabilización de la base de un pavimento rígido; y como objetivos específicos: Determinar la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido, determinar

la plasticidad de la base de un pavimento rígido con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera, determinar la máxima densidad seca de la base de un pavimento con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera, determinar la capacidad resistente de la base de un pavimento con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera y determinar el resultado del diseño del pavimento rígido con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Teniendo planteada nuestra problemática y establecido nuestros objetivos, se tiene como hipótesis general: La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la estabilidad de la base de un pavimento rígido; y como hipótesis específicas: Se posee los resultados de la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido, la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la plasticidad de la base de un pavimento rígido, la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la máxima densidad seca de la base de un pavimento rígido, la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la capacidad resistente de la base de un pavimento rígido y la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera influye en la variación del espesor del pavimento rígido.

II. MARCO TEÓRICO

Ferreira et al (2017), tiene como objetivo investigar el comportamiento de diferentes mezclas con material polimérico y suelos con permeabilidad, considerando que diferentes valores de adición de polímeros afectan significativamente el crecimiento de ISC y RCS, a los que se aplican en las capas base y de subbase. Los materiales en cuestión se aplican como un medio de estabilización química. Se realizaron pruebas de compactación y caracterización geotécnica en materiales aptos para pavimentación de suelos arcillosos, arenosos y limosos con diferentes variaciones comprendidas entre 20% y 60%. Se encontró que diferentes mezclas mostraron un aumento en el índice CBR a 60% de energía transformada en la medida en que la cantidad de dosificación de polímeros llena el vacío del suelo arcilloso, arenoso y limoso, contribuyendo a la estructura del pavimento y sus propiedades geotécnicas.

Tan y Chan (2020), examina la estabilización química de materiales de pavimento de asfalto reciclado (RAP) y mezclas de trituración (CR) con un aglutinante químico patentado como un posible camino a seguir. Los materiales se mezclaron en proporciones de 0, 25, 50 y 75 % de RAP en reemplazo de CR, con el estabilizador químico agregado en dosis entre 2 y 4 % por peso seco de los materiales. Compactadas y curadas durante 7 días según los requisitos de la autoridad local, las muestras se sometieron luego a la Prueba de compresión no confinada donde se registró la resistencia UCS (qu_7). Se ensayaron muestras triples en cada caso para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Se encontró que, con la sustitución de RAP, la UCS es inversamente proporcional a la proporción de RAP utilizada en la mezcla, mientras que la UCS es directamente proporcional a la dosis de producto químico agregado. Además, es técnicamente viable reemplazar parcialmente CR con RAP durante la estabilización química para la aplicación de capas base de carreteras.

Tiwari y Satyam (2022), evaluaron el efecto combinado del refuerzo de fibra de polipropileno y geomalla para la estabilización de contenedores de pavimento. Se llevaron a cabo diversas pruebas para evaluar la resistencia mecánica de diferentes elementos en interacción, como los recipientes expandibles, la fibra de polipropileno y las geomallas triaxiales y biaxiales en la interfaz. Se utilizó fibra de polipropileno

con una longitud de 12 mm en proporciones de 0,25%, 0,5% y 1,0%, junto con una capa de geomalla de profundidad media. Los resultados indicaron un aumento del 177% en la resistencia al corte de la subrasante reforzada con una capa de geomalla bi/triaxial y fibra de polipropileno. Asimismo, se observó que la resistencia a la compresión ilimitada de los recipientes en expansión aumentó del 3,8% al 139,6% al incorporar diferentes combinaciones de fibra de polipropileno en la geomalla. Estos hallazgos demuestran que el refuerzo combinado es un método efectivo para mejorar las propiedades de los recipientes expandibles.

Jordaan y Steyn (2021), describe el enfoque de diseño de materiales básicos que se desarrolló para garantizar que las emulsiones modificadas con nanosilano organofuncionales se puedan usar con éxito para la construcción de capas de pavimento utilizando materiales disponibles de forma natural con un riesgo bajo. La habilitación del uso de materiales naturalmente disponibles en todas las capas de pavimento puede tener un impacto considerable en el costo unitario y los costos del ciclo de vida de la infraestructura de transporte por carretera.

Delbono (2019), propone investigar la adherencia entre una capa de hormigón de cemento Portland y una capa de mezcla asfáltica convencional utilizando una geomalla con diferentes aberturas de malla. Para mejorar la adherencia, se empleó una emulsión asfáltica modificada con polímeros como aglutinante. Los resultados indicaron que la mejor adherencia se logró al utilizar una geomalla con una abertura de malla de 40x40mm. Se observó que, independientemente del tamaño de la malla, el uso de geosintéticos en comparación con un sistema que no consideraba el contacto cercano entre el hormigón y el asfalto mediante emulsión proporcionaba ventajas. En particular, el cruce de geosintéticos de malla abierta mejoró la adhesión en comparación con el sistema de referencia. La mejor adhesión se obtuvo con la malla de 40x40 mm, mientras que los resultados fueron superiores para muestras de diámetro de 100 mm en comparación con las muestras de 150mm.

Ferreira et al. (2017), propone evaluar el uso de una asociación polimérica, en el mejoramiento del comportamiento geotécnico de un suelo con problemas de resistencia, visando su uso como material para pavimentaciones viales con bajo

volumen de tráfico. Esta investigación se basa en ensayos de caracterización geotécnica, compactación, ISC, (UCS RCS y permeabilidad, realizado con suelo puro y con adición de material polimérico en proporciones que varían entre 2% y 6%. La encuesta reveló aumentos considerables en los valores de ISC y RCS. Los resultados obtenidos revelaron que el uso de la asociación polimérica resultó en una disminución de la plasticidad, aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y de la expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo. aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo. aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo.

Marik et al. (2022), presentan un estudio sobre la aplicación del cemento y el aditivo StabilRoad, basado en sílice, para la estabilización de suelos de subrasante. Se evaluó el efecto de la combinación de suelo, cemento y aditivo StabilRoad mediante características de compactación, la relación de carga de California (CBR) y la resistencia a la compresión no confinada (UCS) en diferentes porcentajes de cemento con la adición de este aditivo. El mecanismo subyacente del proceso de estabilización se analizó mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados indican una mejora en las propiedades mecánicas de la mezcla de suelo que contiene este aditivo. Al agregar un 1% de StabilRoad a la mezcla de suelo modificada con cemento, se observó un aumento del 72,413% en el valor de CBR (condición empapada) y un 79,16% en la resistencia UCS (28 días). Además, se desarrollaron varios modelos de regresión,

como la regresión por cuantiles (QR), la regresión de mínimos cuadrados parciales (PSL-R) y los modelos de regresión lineal (LNR), para establecer la relación entre UCS y CBR con las propiedades rutinarias del suelo de subrasante. El modelo LNR demostró la mayor precisión predictiva en todos los casos. Se observó un aumento en la intensidad de los picos de CSH con la incorporación de este aditivo, lo cual es responsable de una mayor resistencia en la mezcla de suelo modificada. La estabilización de la subrasante con este aditivo también resultó en una reducción en el costo total al minimizar el espesor de la corteza del pavimento. En conclusión, esta investigación confirma la utilidad del cemento y el aditivo StabilRoad en la estabilización de subrasantes, con beneficios económicos significativos.

Tabatabaie et al. (2022), llevaron a cabo una investigación sobre la aplicación de agregados de concreto reciclado para mejorar las propiedades de resistencia de suelos arcillosos reforzados con fibras de polímero provenientes de neumáticos reciclados y fibras de vidrio. Se realizaron ensayos de compresión no confinada y tracción indirecta en suelos compuestos por arcilla reforzada con un 0,5% de fibras y estabilizada con un contenido de agregados de hormigón reciclado del 5%, 10% y 15%. Los resultados obtenidos en el laboratorio mostraron que aumentar el contenido de agregados de concreto reciclado (RCA) y el tiempo de curado mejoraron significativamente las resistencias a la tracción y compresión no confinada en comparación con el suelo arcilloso sin refuerzo. Además, se observó que la relación entre la resistencia a la tracción y la compresión se mantuvo constante para los suelos compuestos, independientemente del tipo de fibra utilizada, la cantidad de RCA y la duración del curado. En términos de implicaciones prácticas, se concluyó que la arcilla reforzada con un 0,5% de fibras y estabilizada con un 10% de agregados de concreto reciclado es lo suficientemente resistente después de 28 días de curado para cumplir con los requisitos de resistencia de las capas de base en pavimentos flexibles y rígidos.

Yan et al. (2022), realizaron un estudio para investigar la influencia de diferentes contenidos de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) en el comportamiento de la carretera en el material base estabilizado con cemento con agregado reciclado. Se evaluaron la resistencia, la resistencia a las heladas y la retracción. Los contenidos de RHA utilizados para reemplazar al cemento fueron 0%, 20%, 40%, 60% y 80%

en peso, mientras que se reemplazó el 40% del agregado natural por agregado reciclado de residuos de construcción. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes: a medida que aumenta el contenido de RHA, la resistencia a la compresión no confinada y la resistencia a la división disminuyen en la mezcla con agregado reciclado. Sin embargo, el módulo de resiliencia a la compresión y la resistencia a la tracción por flexión de la mezcla muestran un aumento significativo. Por otro lado, la resistencia a las heladas se ve deteriorada con el aumento del contenido de RHA. Además, tanto el coeficiente de contracción en seco como el coeficiente de contracción por temperatura de la mezcla aumentaron de manera lineal con el aumento del contenido de RHA. En base a los resultados obtenidos, se recomienda que, para la mezcla con agregado reciclado, el contenido de RHA no supere el 40% en peso.

Wiranata et al. (2022), llevaron a cabo un estudio con el objetivo de investigar el coeficiente de capa estructural del suelo cemento con ceniza de carbón (CACSM) utilizado en la guía de diseño de pavimentos de 1993 de la Asociación Estadounidense de Oficiales de Autopistas y Transporte Estatales (AASHTO). El estudio incluyó la caracterización del material en laboratorio y la evaluación en campo. Las pruebas de propiedades mecánicas revelaron que el CACSM tiene la capacidad de autorreparación, y se observó que la ceniza de carbón tuvo una influencia significativa en el curado secundario de las muestras. La fuerza al final de la etapa I y la etapa II mostró el efecto positivo de la alta actividad puzolánica presente en el CACSM, lo que resultó en una mejora del rendimiento a largo plazo. En cuanto a los coeficientes de capa obtenidos en las ubicaciones de las pruebas de campo, oscilaron entre 0,22 y 0,24 para el CACSM. En contraste, para la base granular y la base tratada con cemento, los valores de los coeficientes de capa fueron de 0,07 a 0,14 y de 0,17 a 0,20, respectivamente. Los hallazgos del estudio indican que el CACSM utilizado como base de pavimento es una solución viable que puede contribuir al desarrollo de infraestructuras de transporte con mayor durabilidad del concreto y menores emisiones de huella de carbono.

Se presenta como argumentos teóricos y enfoques conceptuales relacionados a las variables en estudio lo siguiente:

Nanoplaquetas de beterraga azucarera (variable independiente), las nanoplaquetas tubulares tienen la capacidad de incrementar la cantidad de hidrato de silicato de calcio, que es el principal regulador del rendimiento del concreto, al tiempo que previenen el agrietamiento del material. Estudios de prueba de concepto han demostrado que la adición de nanoplaquetas tubulares permite reducir la cantidad de cemento Portland regular necesaria en el concreto, lo que a su vez conlleva a un ahorro de 40 kg de cemento por metro cúbico de concreto. Este ahorro en cemento se traduce en una reducción de aproximadamente 40 kg de emisiones de CO₂ por el mismo volumen de concreto. Además, debido a la mayor resistencia de la mezcla reforzada con nanoplaquetas tubulares, se pueden utilizar secciones de concreto más pequeñas en la construcción de edificios. Esto tiene implicaciones positivas en términos de ahorro de materiales y costos, así como en la reducción del impacto ambiental asociado a la producción de cemento y la emisión de gases de efecto invernadero. (Lancaster University 2018a) La aplicación de nanoplaquetas en el concreto tiene el potencial de generar una reducción significativa en las emisiones de dióxido de carbono durante la construcción. Estos nuevos nanocompuestos de cemento se crean al combinar cemento Portland convencional con nanoplaquetas obtenidas de residuos de tubérculos provenientes de la industria alimentaria. Estos compuestos no solo presentan una microestructura y propiedades mecánicas superiores a los productos de cemento actuales, sino que también requieren cantidades más pequeñas de cemento en su composición. Como resultado, se reduce de manera considerable tanto el consumo de energía como las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de cemento. (Saafi, Ye y Lambert 2020) El proceso sintético se basa en el aprovechamiento de residuos de beterraga azucarera generados durante los procedimientos industriales existentes. Este proceso implica tratar la pulpa de beterraga azucarera regenerada con una solución alcalina de 0,5 mol de KOH por litro para separar la hemicelulosa y la pectina de las células. La mezcla resultante se somete a un calentamiento de 90°C durante 5 horas y se homogeneiza durante 1 hora utilizando un mezclador rotatorio con velocidades de 11 a 30 m/s. Luego, la mezcla se filtra para eliminar

las sustancias disueltas. Por último, se añade un tensioactivo no iónico a la pasta de NPB para recubrir la superficie de las plaquetas, lo que asegura una fácil dispersión del NPB en soluciones acuosas.



Figura 1. Solución NPB

Los NPB se basan en una nueva tecnología de fibra y se derivan de la corteza de las plantas de remolacha azucarera, que ofrecen propiedades únicas con un alto rendimiento técnico. Son aditivos versátiles y potentes que pueden aportar grandes beneficios a muchos productos. Sus propiedades físicas se consideran a una temperatura ambiente de 20 °C y una velocidad de 10 rpm. (Cellucomp 2018)

Tabla 1. Características físicas principales de las NPB

Compuesto	Apariencia	Pigmento	Contenido activo
Celulosa	Granular	Grisáceo	20% ± 2%

Fuente: (Cellucomp 2018)

Tabla 2. Características físicas secundarias de las NPB

Componente volátil	ph	Viscosidad	Densidad
Agua	4.5-7	500-2000c Ps	1.07

Fuente: (Cellucomp 2018)

Las NPB son un material compuesto por partículas de beterraga que se han descompuesto en láminas de tamaño nanométrico. Estas nanoplaquetas tienen una estructura cristalina única y propiedades físicas y químicas interesantes que las hacen prometedoras para una amplia gama de aplicaciones, como la electrónica, la biotecnología y la medicina. Se puede obtener una gran cantidad de nanoplaquetas de beterraga azucarera a partir de la pulpa de la beterraga utilizando un método sencillo y económico. Este método implica la mezcla de la pulpa de la beterraga con agua y una solución de hidróxido de sodio y la posterior cocción en un horno a alta temperatura. Las nanoplaquetas de beterraga azucarera resultantes tienen un tamaño promedio de alrededor de 20 nanómetros y una estructura cristalina de tipo grafito. (Minglong, Shuaidi y Wenwen 2020) Las propiedades de las nanoplaquetas de beterraga azucarera se deben en gran medida a su estructura cristalina única y a la presencia de grupos químicos específicos en su superficie. Por ejemplo, se ha demostrado que estas nanoplaquetas son excelentes absorbentes de luz, lo que las hace útiles para la creación de células solares de alta eficiencia. También se ha demostrado que estas nanoplaquetas tienen propiedades antibacterianas y antioxidantes, lo que las hace útiles para la creación de productos de cuidado personal y medicamentos. Un estudio investigó las propiedades mecánicas y térmicas de un compuesto de mortero reforzado con nanoplaquetas de grafeno. Se encontró que la incorporación de nanoplaquetas de grafeno mejoró significativamente la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia al impacto del compuesto de mortero. (Yu et al. 2019) Además de ello, también se investigó el uso de nanoplaquetas de celulosa como aditivo en morteros. Se encontró que la adición de nanoplaquetas de celulosa mejoró la capacidad de retención de agua del mortero y redujo su contracción. (Gao et al. 2020) Dado que las nanoplaquetas de beterraga azucarera tienen una estructura cristalina similar a las nanoplaquetas de grafeno y de celulosa, estas también se pueden utilizar como aditivo en materiales compuestos utilizados en la ingeniería civil. Las NPB están compuestas principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas tienen una estructura cristalina de tipo grafito y una estructura en capas que consiste en átomos de carbono unidos por enlaces covalentes. Además, la superficie contiene grupos funcionales, como hidroxilos, alcoholes y ésteres, que pueden interactuar con otros compuestos y mejorar sus propiedades físicas y

químicas. Un estudio analizó la composición química de las nanoplaquetas de beterraga azucarera utilizando técnicas de espectroscopia de infrarrojo y espectroscopia Raman. Los resultados mostraron que las nanoplaquetas de beterraga azucarera contenían principalmente carbono y oxígeno, con pequeñas cantidades de hidrógeno y nitrógeno. Además, se encontró que la superficie de las nanoplaquetas contenía grupos funcionales, como hidroxilos y ésteres. (Minglong, Shuaidi y Wenwen 2020)

Estabilización de la base del pavimento rígido (variable dependiente), Este tipo de pavimento consiste en una losa de concreto hidráulico que posee como primera capa la subrasante y se encuentra apoyado en la base, este posee una alta rigidez, una elevada elasticidad y los esfuerzos son capaces de distribuirse por grandes áreas, debido a estas propiedades es capaz de resistir en zonas débiles de sus capas inferiores, la resistencia está condicionada por la capacidad resistente de la losa. (Montejo 2006, p. 5) Hablando de sus ventajas, este tipo de pavimento cuenta con una mayor vida útil que los pavimentos flexibles, incluso hasta 30 años o más, con un mantenimiento adecuado, esto es debido a que el concreto es un material duradero y resistente a la intemperie que se desempeña bien en climas fríos y calurosos; cuentan con un costo de mantenimiento más bajo que los pavimentos asfálticos.(ACPA 2021) Un estudio encontró que los costos de mantenimiento de los pavimentos de concreto disminuyen con el tiempo, mientras que los costos de mantenimiento de los pavimentos asfálticos aumentan;(Federación Internacional del Hormigón 2021) también tienen una capacidad de carga mayor, con lo cual son más adecuados para soportar cargas de tráfico pesado y de ruedas múltiples; consecuentemente presenta menos probabilidad de sufrir deformación permanente, ya que, el concreto tiene una mayor rigidez y resistencia a la deformación que el asfalto. (CICA 2018) Sin embargo, es importante tener en cuenta de manera cuidadosa el uso de estos pavimentos, ya que no todas sus características son igualmente beneficiosas. Por ejemplo, estos pavimentos suelen tener un costo inicial mayor que los flexibles debido costo más elevado de los materiales de construcción, así como a los requisitos de maquinaria y mano de obra más especializados, suelen ser más difíciles y costosos de reparar debido a que requieren la demolición y reconstrucción de secciones enteras de pavimento.

(ACPA 2021) Por otra parte, es importante destacar que el concreto es más propenso a la abrasión en comparación con el asfalto, y la producción de cemento utilizado en la construcción de pavimentos rígidos tiene un mayor impacto ambiental en comparación con la producción de asfalto para pavimentos flexibles. Un estudio ha demostrado que la producción de cemento contribuye aproximadamente al 5% de las emisiones globales de dióxido de carbono. (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. 2019) Asimismo, se reconoce ampliamente que estos pavimentos son menos seguros en comparación con los pavimentos flexibles, especialmente cuando se encuentran pulidos. Esto se debe a que la superficie pulida reduce significativamente la tracción de los vehículos, lo que aumenta el riesgo de deslizamiento y disminuye la seguridad en la conducción. El pulido de los pavimentos rígidos, también conocido como "pulido de concreto", ha ganado popularidad en los últimos años como una forma de mejorar la apariencia y la funcionalidad de los pavimentos existentes. Sin embargo, existe un riesgo potencial para la salud asociado con la exposición a partículas finas de concreto durante el proceso de pulido. Un estudio encontró que los trabajadores de la construcción que realizaban el pulido de concreto tenían un mayor riesgo de desarrollar problemas respiratorios, como tos y sibilancias, así como un mayor riesgo de enfermedades pulmonares crónicas, además de ello también se encontró que los trabajadores tenían un mayor riesgo de exposición a sílice cristalina, una sustancia conocida por causar cáncer de pulmón. (Heederik y Brouwer 2019) Otro estudio realizado encontró que la exposición a partículas finas de concreto durante el pulido puede tener efectos negativos en la salud cardiovascular, además, es importante destacar que estos riesgos, que incluyen un mayor riesgo de enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares, están específicamente relacionados con la exposición ocupacional a partículas finas de concreto durante el proceso de pulido, y no necesariamente se aplican a la exposición ocasional a pavimentos de concreto pulidos en situaciones normales de uso. (Universidad de California 2017)

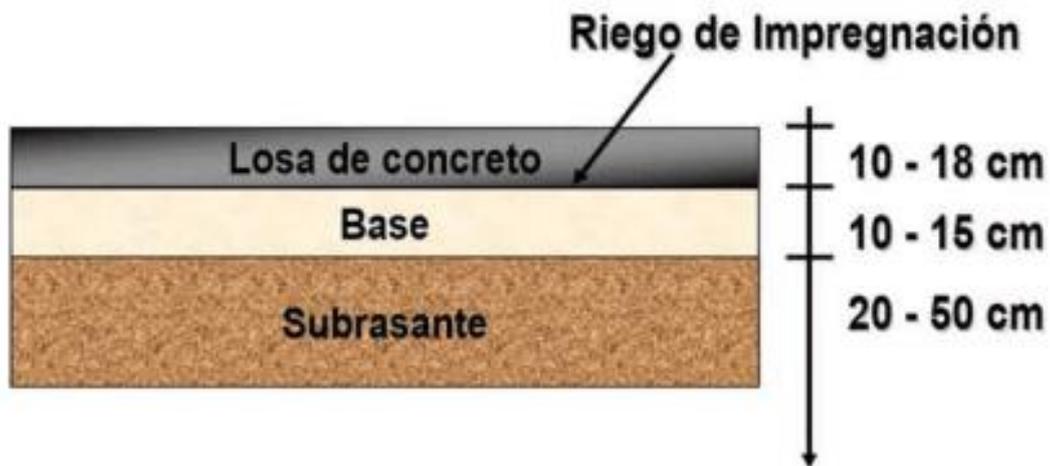


Figura 2. Capas de un pavimento rígido

Además, debido a su colocación en forma de losas, este tipo de pavimento requiere juntas, lo que a su vez resulta en una pérdida de tracción en ciertos tramos e incluso puede ocasionar un desgaste de los neumáticos más pronunciado en algunas áreas. Además, los pavimentos de concreto no responden de manera óptima a ciertas condiciones climáticas. Por ejemplo, en casos de lluvia intensa, su capacidad de drenaje es inferior en comparación con los pavimentos flexibles de asfalto. Los pavimentos flexibles, debido a su configuración, son capaces de evacuar gran parte del agua al transmitirla a través de las diferentes capas que los componen. (Onroad 2022)

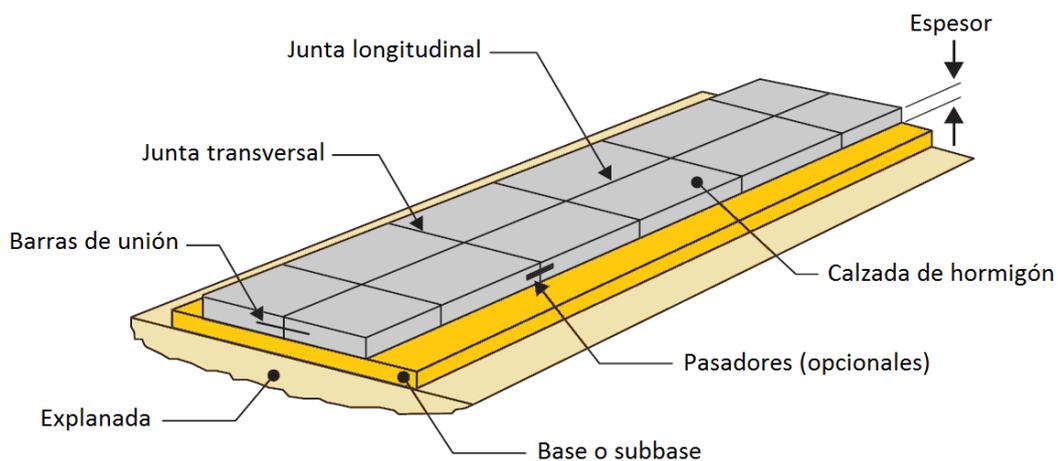


Figura 3. Losa de pavimento rígido

Tabla 3. Comparación entre capas de pavimentos

Capa	Flexible	Rígido
Subrasante	Suelo natural o modificado	Suelo natural o modificado
Base granular	Grava o piedra triturada	Grava o piedra triturada
Subbase	Opcional	Material granular o estabilizado con cemento
Carpeta de rodadura	Concreto de alta resistencia	Asfalto
Espesor de la carpeta	Generalmente más grueso	Generalmente más delgado
Juntas	Juntas de construcción y dilatación	Juntas de construcción y dilatación
Refuerzo	Puede incluir refuerzo de acero	Puede incluir refuerzo de fibra de vidrio o asfalto armado

Fuente: (FHWA 2021)

Un pavimento rígido está conformado por dos capas, dentro de las cuales la base es de material granular estabilizado, capaz de evitar el bombeo de los granos finos. Es recomendable cuando existe tráfico pesado y la interacción vehículo, agua y suelo genera bombeo. (Construneic 2021) La subrasante es la capa más baja del pavimento, que consiste en el suelo o la roca natural debajo de la construcción del pavimento, esta debe ser lo suficientemente firme y estable para soportar las cargas del tráfico sin sufrir deformaciones excesivas, esta proporciona una base sólida y estable para el pavimento y es el soporte de todo el sistema del pavimento y del tráfico vehicular que circula sobre él. (TxDOT 2020) Además, estudios realizados sobre la relación entre la calidad de la subrasante y el desempeño del pavimento rígido demuestran que la calidad de la subrasante es un factor crítico para el desempeño del pavimento rígido, y la selección y el diseño adecuados de la subrasante son fundamentales para el éxito del pavimento, afirmando así que el fracaso del pavimento rígido a menudo se debe a problemas con la subrasante" y que la subrasante debe ser lo suficientemente firme y estable para soportar las cargas del tráfico sin sufrir deformaciones excesivas. (Liu y Zhou 2015) La base es

la capa granular que se coloca sobre la subrasante para proporcionar una superficie de rodadura duradera y resistente, esta debe de tener un espesor mínimo para soportar las cargas del tráfico y distribuir las cargas a la subrasante, con lo cual se destaca que una base adecuada es esencial para garantizar la integridad y durabilidad del pavimento y que la calidad y la resistencia de la base pueden afectar significativamente el rendimiento del pavimento. (ACPA 2021) Asimismo, investigaciones llevadas a cabo en Minnesota han demostrado que la calidad de la base tiene una relación significativa con el rendimiento de los pavimentos rígidos. La selección y el diseño adecuados de la base son aspectos fundamentales para garantizar el éxito del pavimento rígido. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar cuidadosamente la calidad de la base al planificar y construir este tipo de pavimentos. (Liu y Zhou 2015) Finalmente, la capa superior del pavimento, conocida como carpeta de rodadura, desempeña un papel crucial al estar expuesta al tráfico y brindar una superficie adecuada para la circulación de vehículos, esta puede ser una losa de concreto o un pavimento de losas prefabricadas con una superficie uniforme, nivelada y antideslizante. Además, la calidad del concreto utilizado en la carpeta es esencial para garantizar su durabilidad, sabiendo que la calidad del concreto es un factor crítico que influye en la vida útil del pavimento rígido, y es importante que se utilicen materiales de alta calidad y se apliquen técnicas de construcción adecuadas para garantizar la resistencia y durabilidad de la carpeta. (Rao 2015) y en cuanto al espesor de la carpeta, debe de ser adecuado y depende de la capacidad de la subrasante para soportar la carga, el tipo de suelo y el clima, pero por lo general se recomienda un espesor mínimo de 8 pulgadas (20 cm) para carreteras con tráfico pesado. (Fowler 2016) Para vías urbanas la base debe de cumplir características de gradación y propiedades físico-mecánicas. En primer lugar, es esencial que la base tenga una buena gradación, es decir, que esté compuesta por una mezcla de diferentes tamaños de agregados que permitan un buen drenaje y una adecuada compactación, ya que puede mejorar significativamente su resistencia y capacidad de soporte de carga (Norma Técnica Peruana 2016, p. 8) Además de la gradación, la base también debe tener ciertas propiedades físico-mecánicas para garantizar su resistencia y durabilidad, estas incluyen la capacidad de soportar cargas pesadas sin deformación, la resistencia a la abrasión y la erosión, la capacidad de drenaje y la capacidad de soportar la

contracción y expansión debido a los cambios de temperatura. (Tepke 2017) Otro factor importante a considerar al diseñar la base de un pavimento para vías urbanas es el tipo de suelo subyacente. Dependiendo de las características del suelo, puede ser necesario agregar capas adicionales de materiales de relleno o mejorar la estabilidad de la subrasante para garantizar una base sólida y uniforme para el pavimento.(Fowler 2016)



Figura 4. Material granular para base

Tabla 4. Gradación para base granular

Abertura	D	C	B	A
2"			100	100
1"	100	100	75-95	
3/8"	60-100	50-85	40-75	30-65
N°4	50-85	35-65	30-60	25-55
N°10	40-70	25-50	20-45	15-40
N°40	25-45	15-30	15-30	8-20
N°200	8-15	5-15	5-15	2-8

Fuente: (Norma Técnica Peruana 2016, p. 7)

Tabla 5. CBR para base granular

Tipo de Vías	CBR
Locales	> 80%
Colectoras	> 80%
Arteriales	> 100%
Expresas	> 100%

Fuente: (Norma Técnica Peruana 2016, p. 8)

Tabla 6. Agregado grueso para base granular

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000msnm	> 3000msnm
Partículas con 1 cara dañada	MTC E210	> 80%	
Partículas con 2 caras dañadas	MTC E210	> 40%	> 50%
Abrasión de los ángulos	NTP 400.019	> 40%	
Sales disueltas	NTP 339.152	> 0.5%	
Pérdida debido al Na ₂ SO ₄	NTP 400.016	-	> 12%
Pérdida debido al MgSO ₄ ·7H ₂ O	NTP 400.016	-	> 18%

Fuente: (Norma Técnica Peruana 2016, p. 8)



Figura 5. Ensayos de laboratorio

Tabla 7. Agregado fino para base granular

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000msnm	> 3000msnm
Índice de plasticidad	NTP 339.129	< 4%	< 2%
Cono de arena	NTP 339.146	> 35%	> 45%
Sales disueltas	NTP 339.152	< 0.5%	
Durabilidad	MTC E214	> 35%	

Fuente: (Norma Técnica Peruana 2016, p. 9)

La dimensión de plasticidad nos indica que esta es una medida de la diferencia de humedad entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, llegando a ser útiles para determinar la aptitud del suelo para su uso, demostrando así que es un indicador importante de la capacidad del suelo para soportar cargas y deformaciones. (Murthy 2014) La dimensión de Máxima densidad seca con indicadores de peso unitario del material y el porcentaje de absorción de agua, estos nos determinan un parámetro importante para evaluar la calidad del suelo y su capacidad para soportar cargas, este indicador representa la máxima densidad que se puede lograr en el suelo bajo ciertas condiciones de compactación específicas. (Das 2016) La dimensión de capacidad resistente con sus indicadores de CBR y MDS, esta medida representa la capacidad de un suelo para soportar cargas de tráfico en una carretera. Se determina comparando la carga requerida para penetrar un pistón estándar en el suelo en cuestión con la carga necesaria para penetrar el pistón en un material de referencia. Este indicador es útil para evaluar la calidad del suelo y determinar su idoneidad para su uso en la construcción de carreteras. (Bansal 2010) El procedimiento de ensayos se llevará a cabo con las muestras de la Vía Agua Buena – Willkarpay. Por último, existe la dimensión de diseño del pavimento rígido, para la cual se emplean diversos métodos. Uno de los métodos más comunes es el método AASHTO, que utiliza el concepto de "número equivalente de ejes estándar" (ESAL) para evaluar la carga repetitiva que un pavimento debe soportar a lo largo de su vida útil. Este método toma en cuenta diversos factores, como la resistencia del concreto, la condición de

la subrasante, la base y la subbase. A partir de estos factores, se calcula el espesor necesario de la capa de concreto para poder resistir la carga estimada. (AASHTO 2018) Además, otro método utilizado es el método PCA, que se enfoca en la resistencia a la flexión del pavimento y se basa en la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tráfico. Este método utiliza ecuaciones empíricas para calcular el espesor necesario de la capa de concreto y determinar la separación máxima entre las juntas de contracción. El método considera factores como la resistencia del pavimento y su capacidad para distribuir y resistir las cargas aplicadas por el tráfico. A partir de estos cálculos, se establece el diseño óptimo del pavimento rígido. (PCA 1993) Además, se emplea el método de diseño de la ACI, el cual se centra en la resistencia del pavimento a la fatiga. Este método se basa en determinar el número de ciclos de carga que el pavimento puede soportar antes de experimentar una falla. Para ello, se tienen en cuenta factores como la carga de tráfico, la resistencia del concreto y la profundidad de la capa de concreto. Mediante cálculos y análisis, se establece el diseño adecuado del pavimento rígido que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad frente a la fatiga. (ACI 1997) En resumen, es esencial elegir el método de diseño adecuado para garantizar la durabilidad y capacidad de carga del pavimento. Se recomienda buscar la orientación de expertos en diseño de pavimentos para seleccionar el método más apropiado y realizar un diseño seguro. El diseño de pavimentos rígidos implica considerar factores como el tipo de tráfico, las características del suelo y los materiales utilizados. Se debe tener en cuenta la capacidad de carga del suelo y la vida útil esperada del pavimento al determinar las dimensiones de la losa y la separación entre juntas. El diseño de pavimentos rígidos requiere experiencia en ingeniería de pavimentos y el uso de software especializado puede facilitar el proceso y mejorar la precisión del diseño. En definitiva, un diseño cuidadoso y bien ejecutado es fundamental para garantizar la funcionalidad y durabilidad del pavimento. (Smith 2001)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo aplicado implica la creación de conocimiento a través de su aplicación directa a los problemas actuales que enfrenta la sociedad o el sector productivo. (CONCYTEC 2020) La presente investigación buscó solucionar un problema presente en la sociedad, siendo en este caso la solución la aplicación de las nanoplaquetas de beterraga azucarera en la base del pavimento rígido para mejorar su estabilidad.

Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con el objetivo de responder preguntas de investigación y probar hipótesis. Este enfoque se apoya en la medición y el conteo, y a menudo utiliza métodos estadísticos para identificar patrones de comportamiento en una población con precisión. (Hernandez, Fernandez y Baptista 2018) El enfoque es cuantitativo, ya que se hizo uso de la recolección de datos de los ensayos propuestos y el diseño del espesor del pavimento para dar respuesta a la problemática planteada.

Diseño de investigación

Un diseño experimental consiste en manipular directamente una o más variables en estudio y analizar los resultados de esta manipulación en otras variables. (Hernandez, Fernandez y Baptista 2018) El diseño es experimental – cuasi experimental, ya que se manipuló las muestras de la base granular, a las cuales se le adicionó 5%, 10%, 15% y 20% de nanoplaquetas del peso de la muestra de suelo, obteniendo así diferentes manipulaciones de la variable dependiente.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente (X): Nanoplaquetas de beterraga azucarera

Definición conceptual

Fibras de refuerzo con propiedades mecánicas superiores a las del cemento y una adecuada composición en su microestructura. Es capaz de reducir la emisión del CO₂ al entrar en contacto con el cemento. (Lancaster University 2018).

Definición operacional

Se llevará a cabo una Sintetización de la beterraga mediante la adición de hidróxido de potasio para obtener las nanoplaquetas, las cuales serán dosificadas en un cierto porcentaje respecto al peso de la muestra que se utilizará.

Dimensiones

- Sintetización
- Porcentaje de adición

Indicadores

- Hidróxido de Potasio (mol)
- Dosificación (g)
- 0%, 5%, 10%, 15% y 20% (g)

Escala de medición

- De Razón

Variable dependiente (Y): Estabilización de la base del pavimento rígido

Definición conceptual

Esta estabilización es aplicada para proyectos nuevos y de rehabilitación de vías, buscando mejorar las capacidades de resistencia para evitar un movimiento de todo el suelo conformante. (Lime 2006)

Definición operacional

Las muestras de base estabilizada y la muestra patrón serán llevadas a laboratorio para realizarles los ensayos de granulometría para la caracterización de materiales y para determinar las propiedades en las cuales mejora se realizará los ensayos de límites de atterberg, próctor modificado y CBR.

Dimensiones

- Granulometría
- Plasticidad
- Máxima Densidad Seca
- Capacidad Resistente
- Diseño estructural

Indicadores

- Análisis granulométrico (%)
- Índice de plasticidad (%)
- MDS (g/cm³)
- CBR (%)
- Espesor del pavimento (mm)

Escala de medición

- De Razón

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

Población

La población se refiere al conjunto completo del fenómeno que se desea analizar. En este contexto, las unidades individuales que conforman la población comparten una característica en común y son objeto de estudio en la investigación de datos. (Tamayo y Tamayo 1999) La presente tesis de investigación tuvo como población a la totalidad que conforma la Vía Agua Buena – Willkarpay, Cusco, las muestras se analizaron en el tramo más crítico y el tamaño de la población será de 28 unidades muestrales.

Muestra

La muestra está definida como la totalidad de operaciones a realizar para estudiar las características de la población dividiéndolo en fracciones que puedan analizarse. (Tamayo y Tamayo 1999) En la presente investigación se utilizaron 28 unidades. Para facilitar la presente investigación, se les dio la siguiente nomenclatura a los componentes de las unidades muestrales:

Agregado de cantera: A

Nanoplaquetas de beterraga: NB

Para realizar las dosificaciones, se hizo uso del diseño factorial de 2 factores, teniendo así un alcance de $2^k = 2^2 = 4$; es decir, 4 combinaciones. Se realizó 4 ensayos: Granulometría, plasticidad, próctor modificado y CBR; con un estudio de 3 calicatas distintas, de cada una de estas se obtuvo 1 muestra por dosificación (100%S+0%NB, 95%S+5%NB, 90%S+10%NB, 85%S+15%NB y 80%S+20%NB).

Obteniendo así 4 unidades muestrales para el análisis granulométrico esto porque solo se analizó el estado del suelo natural y el material obtenido de cantera, 8 unidades muestrales para determinar el índice de plasticidad del estado natural del suelo y del agregado obtenido de cantera, 8 unidades muestrales para determinar la máxima densidad seca del suelo natural y del agregado obtenido de cantera, 8 unidades muestrales para determinar el CBR al 95% de la MDS del suelo natural y del agregado obtenido de cantera, finalmente el cálculo del espesor de la carpeta de rodadura se realizó en base a la guía de la AASHTO-93 para pavimentos rígidos, las nanoplaquetas de beterraga azucarera se determinaron en función al peso de la muestra analizada en cada uno de los casos.

Tabla 8. *Dosificación de muestras para análisis granulometría del suelo natural*

Muestra (M)	Suelo Natural	Unidades muestrales		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	1	1	1
Total		3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. *Dosificación de muestras para análisis granulometría del agregado obtenido de cantera*

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Unidades muestrales
M ₀	100%	0%	1
Total			1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. *Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del suelo natural*

Muestra (M)	Suelo Natural	Unidades muestrales		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	1	1	1
Total		3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. *Dosificación de muestras para ensayo de plasticidad del agregado obtenido de cantera*

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Unidades muestrales
M ₀	100%	0%	1
M ₁	95%	5%	1
M ₂	90%	10%	1
M ₃	85%	15%	1
M ₄	80%	20%	1
Total			5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. *Dosificación de muestras para ensayo de próctor modificado del suelo natural*

Muestra (M)	Suelo Natural	Unidades muestrales		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	1	1	1
Total			3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. *Dosificación de muestras para ensayo de próctor modificado del agregado obtenido de cantera*

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Unidades muestrales
M ₀	100%	0%	1
M ₁	95%	5%	1
M ₂	90%	10%	1
M ₃	85%	15%	1
M ₄	80%	20%	1
Total			5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. *Dosificación de muestras para ensayo CBR del suelo natural*

Muestra (M)	Suelo Natural	Unidades muestrales		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	1	1	1
Total		3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. *Dosificación de muestras para ensayo CBR del agregado obtenido de cantera*

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Unidades muestrales
M ₀	100%	0%	1
M ₁	95%	5%	1
M ₂	90%	10%	1
M ₃	85%	15%	1
M ₄	80%	20%	1
Total			5

Fuente: Elaboración propia

Muestreo

El muestreo probabilístico nos permite escoger muestras de manera aleatoria de todos los miembros de la población, con lo cual este se convierte en un método menos estricto. (Tamayo y Tamayo 1999) La presente tesis de investigación utilizó el muestreo no probabilístico, puesto que, siguiendo lo establecido en el manual MTC E103 para los ensayos a realizar, se eligió las muestras a partir del método de cuarteo, que es totalmente aleatorio.

Unidad de análisis

La unidad de análisis se refiere a la entidad o elemento que será objeto de medición en un estudio o análisis. Es la unidad individual o colectiva que se selecciona para recopilar datos y realizar mediciones con el fin de obtener información sobre una determinada variable o fenómeno de interés. Es la unidad básica sobre la cual se centrará el estudio y se recolectarán los datos necesarios para realizar análisis y conclusiones. (Hernandez Sampieri) En este estudio de investigación, se examinó

el efecto de la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en las propiedades del suelo. Se tomaron muestras de suelo como unidades de análisis para realizar el estudio y analizar cómo se modifican dichas propiedades con la adición de estas nanoplaquetas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos de observación directa consiste en obtener la data o información requerida mediante el uso de la vista de manera consecutiva. (Hernandez, Fernandez y Baptista 2018) En la presente tesis de investigación se obtuvo los datos necesarios a partir de los ensayos propuestos, primero se extrajo las muestras de suelo y seguidamente se llevó a laboratorio, donde se observó en todo momento cada uno de los ensayos hasta obtener los datos necesarios para poder procesarlos y realizar el posterior diseño del espesor del pavimento rígido.

Instrumento de recolección de datos

Las fichas de recolección de datos son instrumentos en los que se coloca toda la información necesaria y relevante para la investigación, que han sido obtenidos durante la recolección de datos, se transcribe esta información para poder utilizarla en cualquier momento de la investigación. (Hernandez, Fernandez y Baptista 2018) En la presente tesis de investigación se realizó 3 ensayos diferentes a 15 muestras de suelo, por lo que fue necesario guardar toda esta información en fichas de recolección en formatos de Excel para poder procesarlos sin ningún problema de manera posterior.

3.5. Procedimientos

Para llevar a cabo el proceso de investigación, fue necesario realizar pruebas y ensayos en diferentes etapas, con el fin de obtener datos y resultados precisos que permitieron tomar decisiones informadas a la hora de analizar el suelo natural y el material obtenido de cantera para ser utilizado como material granular.

Estudios de campo – Material extraído de cantera

El primer paso fue llevar a cabo la extracción de material de cantera, la cantera elegida fue la Cantera Qencco ubicada en Ollantaytambo, la fecha de extracción corresponde al 02 de mayo del año 2023, las características de este material corresponden a una mezcla entre agregado grueso y fino, con lo cual es necesario su zarandeo para la aplicación como material para la base.



Figura 6. Extracción de material de cantera



Figura 7. Extracción de material de cantera

Estudios de campo – Exploración de suelos

La normatividad aplicada para la exploración del campo y realización de calicatas fueron las normas peruanas MTC E101, MTCE103 y MTCE104. En base a estas normas se indica que al ser un camino vecinal (carretera de tercera clase) con un bajo volumen de tránsito se debe de realizar 1 calicata por cada km; no obstante, con fines de estudio e investigación se llevaron a cabo 3 calicatas. Obteniendo así muestra bruta por cada calicata realizada. Se desarrolló este estudio del material in situ para conocer las propiedades del suelo natural en 3 puntos diferentes de la vía, estos fueron seleccionados en función a consideración de los tramos críticos.

El muestreo se realizó en base la Norma MTC E 101, con lo cual se realizó tres calicatas de 80 cm de profundidad para elaborar la estratificación del suelo, tomando en cuenta la inexistencia de componentes orgánicos, para la identificación de cada unidad muestral se realizó un etiquetado indicando: la profundidad, ubicación y fecha de extracción.

Las calicatas fueron elaboradas con ayuda de una retroexcavadora para poder acelerar el proceso y obtención de muestras.



Figura 8. Extracción de material – calicata C1



Figura 9. Extracción de material – calicata C2



Figura 10. Extracción de material – calicata C3

Para obtener las muestras de suelo necesarias, se utilizó el método de cuarteo, este método consiste en dividir la muestra en cuatro partes iguales y tomar dos partes opuestas de estas para obtener una muestra representativa. Este procedimiento se realizó con el fin de asegurar que las muestras obtenidas sean lo más homogéneas posibles para finalmente trasladarlo en sacos hacia el laboratorio de estudio.



Figura 11. Cuarteo de material in situ

Estudios de campo – Plano de Calicatas

Una vez obtenido las calicatas de la vía, se realizó el plano respectivo para identificar la distancia entre cada una de ellas, así como sus coordenadas para identificar los puntos de criticidad.

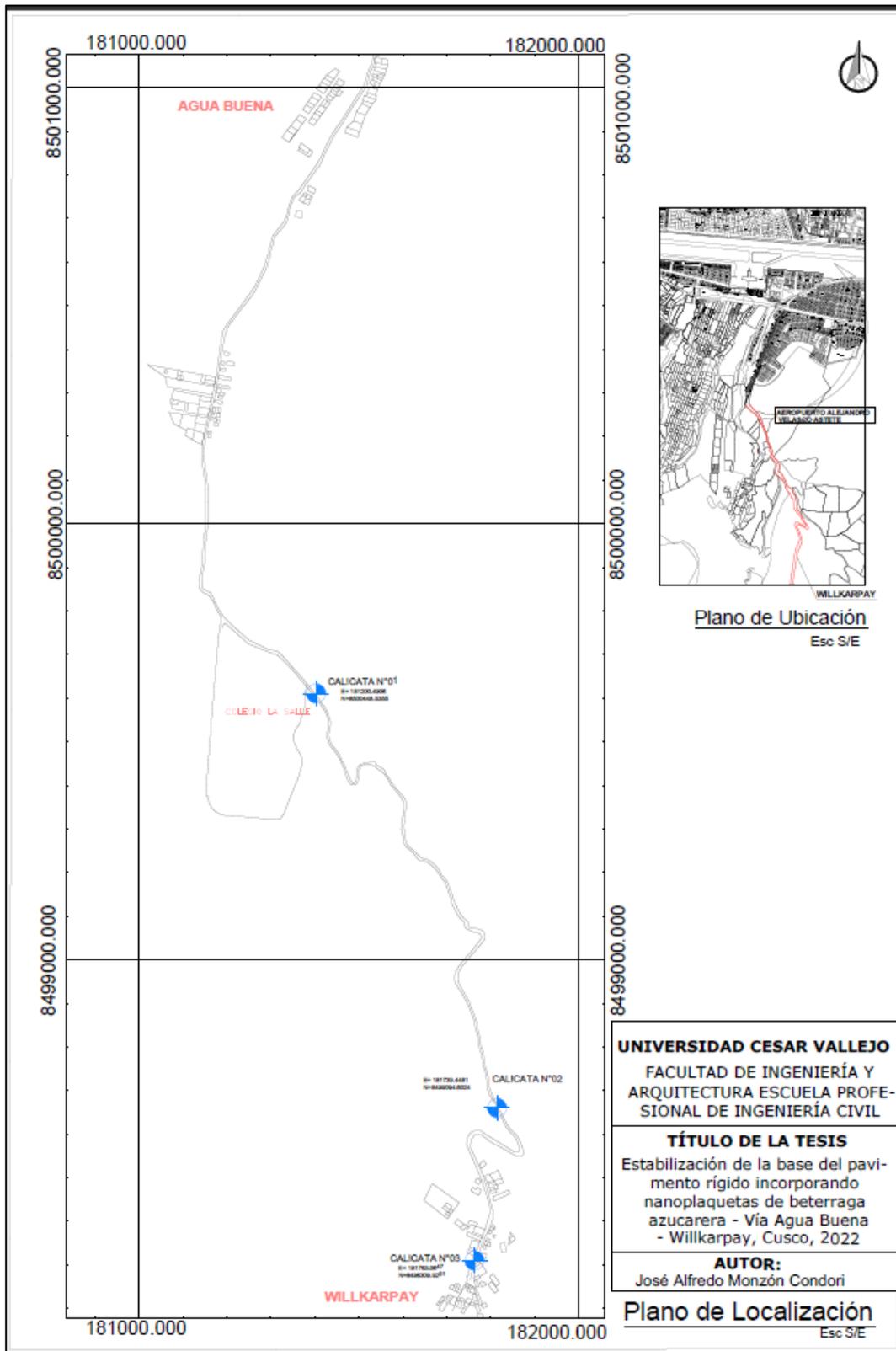


Figura 12. Plano de calicatas elaboradas en los puntos más críticos

Estudios de campo – Perfil estratigráfico

En el caso de la calicata C1 presenta una composición de arena limosa combinada con grava color plomizo oscuro desde el nivel NTN 0.00m hasta una profundidad de 0.20m, consecutivamente la siguiente capa presenta una grava mal graduada con arcilla limosa muy suelta con partículas sub redondeadas color café oscuro.

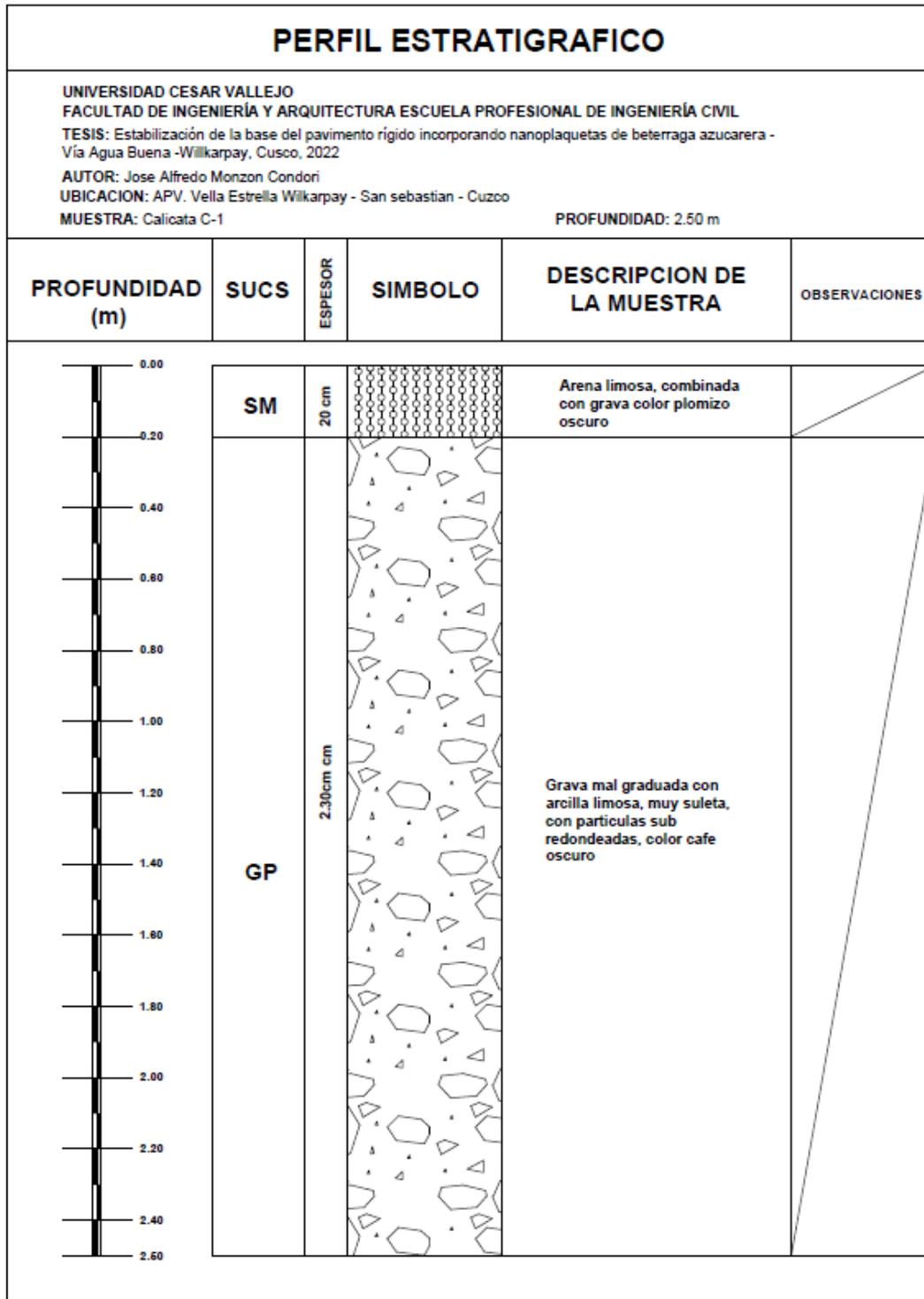


Figura 13. Perfil estratigráfico de la calicata C1

En el caso de la calicata C2 presenta arena limosa combinada con grava color plumizo oscuro desde el nivel NTN 0.00m hasta una profundidad de 0.20m, consecutivamente la siguiente capa presenta grava mal graduada con arcilla limosa muy suelta con partículas sub redondeadas color café oscuro.

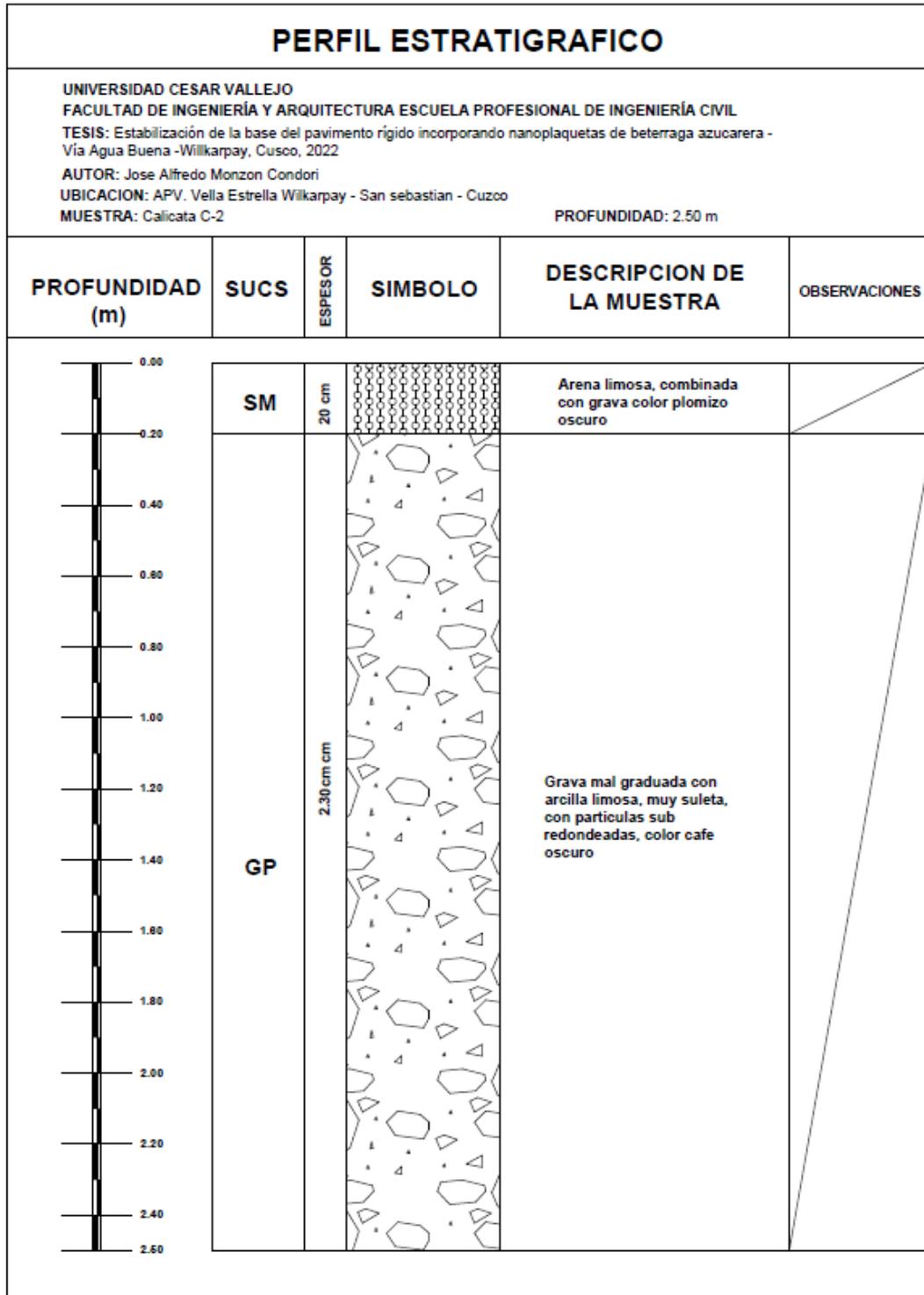


Figura 14. Perfil estratigráfico de la calicata C2

Obtención de las nanoplaquetas

Para la obtención de las nanoplaquetas de beterraga azucarera se llevó a cabo un proceso de sintetización con hidróxido de potasio de la beterraga azucarera, ya que con ello se pudo obtener la celulosa que mediante un proceso de secado se convirtió en polvo, se obtuvieron aproximadamente 40kg para aplicarlo e los distintos ensayos de laboratorio mediante la disolución en agua para facilitar su aplicación y combinación con el suelo.



Figura 16. Beterraga azucarera



Figura 17. Nanoplaquetas de beterraga azucarera en polvo

Estudios de laboratorio

Luego de haber llevado a cabo la obtención de los materiales necesarios (agregado de cantera, muestras del suelo in situ y nanoplaquetas de beterraga azucarera) se empezaron con los estudios de laboratorio, siendo el ensayo de granulometría el primero llevado a cabo para conocer el grado de fineza y el tipo de suelo natural de acuerdo con la clasificación AASHTO que poseemos, así como el del agregado obtenido de cantera para ver su paso por el tamiz N°200, seguidamente se realizaron los ensayos de Límites de Atterberg, Próctor Modificado y CBR. Siendo estos aplicados mediante la norma peruana para pavimentos urbanos.

Granulometría	MTC E107
Límites de Atterberg	MTC E110
Proctor Modificado	MTC E115
CBR en laboratorio	MTC E132

Ensayo de granulometría

Para el ensayo de granulometría se tuvo como equipos: tamices, balanza de precisión de 0.01gr, un agitador manual, bandejas y agua.

Luego se procedió a realizar la preparación de la muestra, la cual es recomendable según la norma 5kg de muestra de suelo in situ, se verificó que esta esté libre de algún contaminante o material extraño después del cuarteo. Se hizo uso primero de 500gr mediante la balanza de precisión, luego un tamizado preliminar, proceso en el cual se colocó la muestra en el tamiz de abertura mayor y se agitó mediante el agitador manual durante un tiempo determinado para separar las partículas más grandes, luego las partículas retenidas en el tamiz de abertura mayor se lavaron cuidadosamente con agua para eliminar los finos adheridos. Después se colocaron los tamices de abertura progresivamente menor, desde el tamiz de abertura mayor hasta el tamiz de abertura más pequeña, en orden descendente. La muestra lavada se colocó en el tamiz superior y se agitó durante un tiempo establecido para separar las partículas según su tamaño. Finalmente, después de agitar cada tamiz, se pesó el material retenido en cada uno de ellos para calcular el porcentaje acumulado de material retenido en cada tamiz y el porcentaje que pasa a través de cada tamiz, en función del peso inicial de la muestra.

Para interpretar los resultados se graficó la curva granulométrica utilizando los porcentajes acumulados en función del tamaño de las aberturas de los tamices.



Figura 18. Ensayo de granulometría por tamizado del suelo natural



Figura 19. Ensayo de granulometría por tamizado del agregado de cantera

Ensayo de índice de plasticidad

Para el ensayo de índice de plasticidad se tuvo como equipos: balanza de precisión de 0.01gr, bandejas, una probeta, espátula, placa de vidrio y el equipo de Casagrande.

La cantidad mínima recomendable de muestra para el ensayo según la norma MTCE110 es de aproximadamente 20gr, se verificó que esta esté libre de algún contaminante o material extraño después del cuarteo. Se llevó a cabo el pesado de la muestra haciendo uso de la balanza de precisión, se colocó la muestra en un recipiente y se agregó agua en una cantidad determinada, siguiendo las indicaciones de la norma MTCE110. Luego, se mezcló el suelo con el agua hasta obtener una consistencia homogénea. Se tomó una porción de la mezcla de suelo y agua y se moldeó en forma de cilindro en la placa de vidrio. Se repitió este proceso hasta obtener un cilindro con una longitud y diámetro determinado, de acuerdo con las especificaciones de la norma. Se colocó el cilindro en el equipo de Casagrande y se realizó el ensayo de penetración con un número determinado de golpes. Se registró el número de golpes requeridos para que el surco del cilindro se cierre en una longitud de 13 mm. Luego, se calculó el límite líquido utilizando la tabla de correlación especificada en la norma. Posteriormente se tomó otra porción de la mezcla de suelo y agua y se moldeó en forma de hilo de diámetro determinado. Se enrolló este hilo alrededor del dedo hasta que se rompa. Se registraron las longitudes del hilo y se calculó el límite plástico utilizando esta medida. Finalmente, se restó el límite líquido del límite plástico para obtener el índice de plasticidad.



Figura 20. Ensayo de índice de plasticidad del suelo natural



Figura 21. Ensayo de índice de plasticidad del agregado de cantera

Ensayo de próctor modificado

Para el ensayo de próctor modificado se tuvo como equipos: balanza de precisión de 0.01gr, cilindro metálico, compactadora, martillo, bandeja, espátula, horno y recipientes.

La cantidad mínima recomendable de muestra para el ensayo según la norma MTCE115 es de aproximadamente 4 kg, se verificó que esta esté libre de algún contaminante o material extraño después del cuarteo. Se mezcló la muestra de suelo con una humedad inicial aproximada y se pasó por un tamiz de abertura especificada en la norma para eliminar las partículas grandes. Se tomó una muestra de suelo y se pesó. Luego, se secó en el horno a una temperatura y tiempo especificados en la norma. Después de secar, se pesó nuevamente y se calculó la humedad inicial. Se tomó una porción de la muestra de suelo y se colocó en el molde de compactación en capas uniformes. Cada capa se compactó utilizando el martillo y la compactadora, siguiendo una cantidad específica de golpes y una altura de caída. Se repitió este proceso hasta que el molde estuvo completamente lleno. Se extrajo el suelo compactado del molde con cuidado y se pesó. Esta masa se utilizó para el cálculo de la densidad seca y el contenido de humedad del suelo compactado. Este procedimiento de compactación se repitió con diferentes contenidos de humedad, añadiendo o extrayendo humedad y ajustando el proceso hasta obtener una curva de compactación. Finalmente, se graficaron los valores de

densidad seca en función del contenido de humedad y se determinó el punto máximo de la curva, que corresponde a la densidad máxima y al contenido de humedad óptimo.



Figura 22. Ensayo de Proctor modificado del suelo natural



Figura 23. Ensayo de Proctor modificado del agregado de cantera

Ensayo de CBR

Para el ensayo de próctor modificado se tuvo como equipos: molde CBR, pistón, compactadora, espátula, bandeja, disco filtrante, dial, compresor, anillos y balanza de precisión de 0.1gr.

La cantidad mínima recomendable de muestra para el ensayo según la norma MTCE132 es de aproximadamente 5 kg, se verificó que esta esté libre de algún contaminante o material extraño después del cuarteo. Se mezcló la muestra de suelo con una humedad aproximada y se pasó por un tamiz de abertura específica para eliminar partículas grandes. Se tomó una porción de la muestra de suelo y se colocó en el molde de CBR en capas uniformes. Cada capa se compactó utilizando la compactadora y se aplicó una cantidad específica de número de golpes. Se repitió este proceso hasta que el molde estuvo completamente lleno. Se extrajo el suelo compactado del molde y se pesó. Luego, se secó en el horno a una temperatura y tiempo determinado. Después de secar, se pesó nuevamente y se calculó la densidad seca del suelo compactado. Se colocó el disco filtrante en la base perforada del molde de CBR. A continuación, se colocó el pistón sobre el disco filtrante y se fijó correctamente. Se colocó el molde de CBR en la compresora y se aplicó una carga vertical en incrementos específicos. Se registró la carga aplicada y el desplazamiento del pistón en cada incremento de carga. Se determinó la relación entre la carga aplicada y el desplazamiento registrado para cada incremento. Luego, se calculó el valor del CBR como el cociente entre la carga unitaria correspondiente al desplazamiento del pistón y la carga unitaria estándar. Una vez finalizado el ensayo de corte, se retiró cuidadosamente el pistón del molde de CBR. Se midió el diámetro del suelo compactado utilizando un calibrador. Se registró el diámetro para su posterior cálculo. Utilizando los valores de carga aplicada y desplazamiento registrados en cada incremento, se calculó el CBR para cada punto de carga. Se aplicó una fórmula específica de la norma MTCE132 para obtener el CBR en función de los datos obtenidos. Finalmente, se graficó los valores del CBR en función de la carga aplicada y se trazó la curva de CBR. Esta curva proporcionó la información sobre la resistencia del suelo a diferentes cargas y se utilizó para interpretar su capacidad de soporte.



Figura 24. Ensayo de CBR del agregado de cantera

Diseño del pavimento rígido

Con los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio, se procedió a llevar a cabo el diseño del pavimento rígido, utilizando el método del AASHTO 93, que es una metodología de diseño de pavimentos ampliamente utilizada en la ingeniería vial. Se realizó el diseño de pavimento rígido teniendo en cuenta los resultados de los ensayos con y sin la adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera, con el fin de evaluar la influencia de estos en el espesor del pavimento. Es importante mencionar que las nanoplaquetas alteraron las características del suelo y, por lo tanto, su impacto en el diseño fue evaluado cuidadosamente. Una vez realizado el diseño, se determinó la variación del espesor en función de la dosificación de las nanoplaquetas de beterraga azucarera utilizadas en cada una de las calicatas, con el fin de determinar la dosificación óptima para obtener un pavimento rígido seguro y duradero.

Para el diseño del espesor de la carpeta de rodadura primero se recopiló datos de tráfico históricos para obtener el IMDA, que representa el número promedio de vehículos que pasan por la carretera en un día determinado, se estimó la proporción de vehículos pesados en relación con el total de vehículos. Esto es importante porque los vehículos pesados ejercen cargas mayores sobre el pavimento. Luego se determinó los ESAL, que representan el número de repeticiones de una carga de referencia de 18 kip (80 kN) en ejes simples. Estas cargas se utilizaron para

estimar la carga total que experimentará el pavimento durante su vida útil. Se realizaron los estudios geotécnicos y pruebas de laboratorio para determinar la clasificación del suelo, sus propiedades mecánicas y características de drenaje. Esto incluyó las pruebas como el análisis granulométrico, límites de Atterberg, densidad seca y CBR calculados del material natural y del agregado obtenido de cantera. Se determinó la rigidez de la subrasante, la cual se utilizó para calcular la capacidad de carga del pavimento rígido. Se determinó mediante estimaciones basadas en la clasificación del suelo y las condiciones del sitio. Se calculó la resistencia a la compresión del suelo, ya que es un parámetro importante para evaluar su capacidad de soporte. Se obtuvo a través de ensayos de laboratorio, como el ensayo de consolidación, que permitió determinar la capacidad del suelo para soportar cargas aplicadas. La norma AASHTO-93 proporciona tablas y gráficos que relacionan el IMDA, el módulo de reacción de subrasante y el PSI objetivo para seleccionar el espesor inicial de la losa de concreto. Estos valores se encontraron en función de la categoría de diseño y las condiciones específicas de la investigación. A partir del espesor inicial determinado, se realizaron ajustes en función de consideraciones adicionales, como las propiedades específicas del concreto, las condiciones ambientales y las características de diseño. La norma AASHTO-93 establece valores mínimos de espesor de losa de concreto para diferentes categorías de diseño y condiciones de tráfico, con lo cual se verificó que el espesor obtenido cumplía con el valor mínimo recomendado para una carretera de tercera clase. Se aseguró que el espesor de la losa sea suficiente para soportar las cargas previstas, evitando la falla estructural y asegurando la vida útil deseada del pavimento. Posteriormente, se definió la ubicación y el tipo de juntas necesarias en las losas de concreto para acomodar las expansiones y contracciones térmicas, así como para controlar las grietas y el deterioro del pavimento.

Procesamiento de datos

Una vez finalizados los ensayos y el diseño del pavimento rígido, se procedió a procesar todos los datos recolectados en el laboratorio y en la vía. Para esto, se utilizó la estadística inferencial, un método que permite analizar y sacar conclusiones a partir de una muestra representativa del total de datos obtenidos. La estadística inferencial es una herramienta importante en la investigación

científica y en la ingeniería, ya que permite obtener conclusiones a partir de una muestra, extrapolando estos resultados a la población total. En este caso, los datos obtenidos de las muestras de suelo de las calicatas y los ensayos realizados del suelo natural como del agregado de cantera se utilizaron para analizar la influencia de las nanoplaquetas de beterraga azucarera en el diseño del pavimento rígido. Se realizaron diversos análisis estadísticos para evaluar los resultados, tales como el análisis de varianza (ANOVA), la prueba de hipótesis y la correlación entre las variables. Estos análisis permitieron evaluar la significancia de los resultados y su relación con las variables evaluadas.

3.6. Método de análisis de datos

La tesis de investigación en cuestión no hizo uso de software de modelamiento de ingeniería, sino que se emplearon herramientas como MS Excel y SPSS para el procesamiento de los datos obtenidos a través de los ensayos realizados. A pesar de que existen diversos programas de modelamiento en el mercado, en esta ocasión se decidió optar por una metodología más sencilla y accesible para el análisis de los datos. El uso de MS Excel permitió la elaboración de tablas y gráficos para la visualización de los datos de una manera clara y precisa, lo que facilitó la interpretación y análisis de los resultados. Por su parte, SPSS fue utilizado para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos y obtener conclusiones más precisas y fiables. Cabe destacar que el uso de estos programas informáticos es muy común en el ámbito de la investigación, y su accesibilidad y facilidad de uso hacen que sean herramientas muy valiosas para cualquier profesional que desee realizar estudios o investigaciones en cualquier campo.

El estudio de la influencia de las nanoplaquetas de beterraga en la estabilización de una base de pavimento rígido es una cuestión importante para el sector de la construcción, ya que puede tener implicaciones significativas en la durabilidad y la eficiencia de la infraestructura vial. En este sentido, la estadística descriptiva es una herramienta útil para analizar los datos obtenidos en la investigación. En el estudio mencionado, se recurrió a la estadística descriptiva para calcular la frecuencia de ciertos parámetros de tendencia central y dispersión. Por ejemplo, se calculó la media y la desviación estándar de los datos para entender la distribución de estos.

Asimismo, se calculó la mediana y el rango para entender la variabilidad de los datos.

Se empleó la estadística inferencial para realizar la prueba de hipótesis. La estadística inferencial es una rama de la estadística que utiliza métodos matemáticos y probabilísticos para hacer inferencias sobre una población a partir de una muestra. En este caso, la prueba de hipótesis se utilizó para comprobar la validez de una afirmación acerca de la población, basada en los datos de una muestra. La prueba de hipótesis se compone de dos hipótesis: la hipótesis nula, que se considera verdadera hasta que se demuestre lo contrario, y la hipótesis alternativa, que se acepta si se rechaza la hipótesis nula. Para llevar a cabo la prueba de hipótesis, se utilizó un estadístico de prueba que se calcula a partir de los datos de la muestra y que se compara con un valor crítico. Si el estadístico de prueba es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que implica que hay evidencia suficiente para afirmar que la hipótesis alternativa es verdadera.

3.7. Aspectos éticos

La presente tesis de investigación se realizó sin fines de lucro, siguiendo los principios de ética y calidad, tanto de la entidad universitaria como asesora como del tesista. Buscando cumplir, con responsabilidad, el objetivo de la investigación, que es encontrar la influencia de la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la estabilización de la base de un pavimento rígido para la zona de Willkarpay, trabajando con respeto y empatía junto a la población que habita la zona de estudio.

Al verificar la hipótesis propuesta, se pudo plantear esta mejora optimizando costos y mejorando la resistencia de este pavimento, lo que generará desarrollo en la población de Willkarpay, además de un nuevo aporte para la ingeniería civil.

IV. RESULTADOS

Descripción de la zona de estudio

Ubicación de la zona de estudio

La vía Agua Buena – Willkarpay políticamente se ubica en el distrito de San Sebastián, provincia de Cusco, departamento del Cusco. Sus coordenadas UTM son 19S 181526.10m W 8500585.00m N y se encuentra a una altitud es de 3340 msnm.

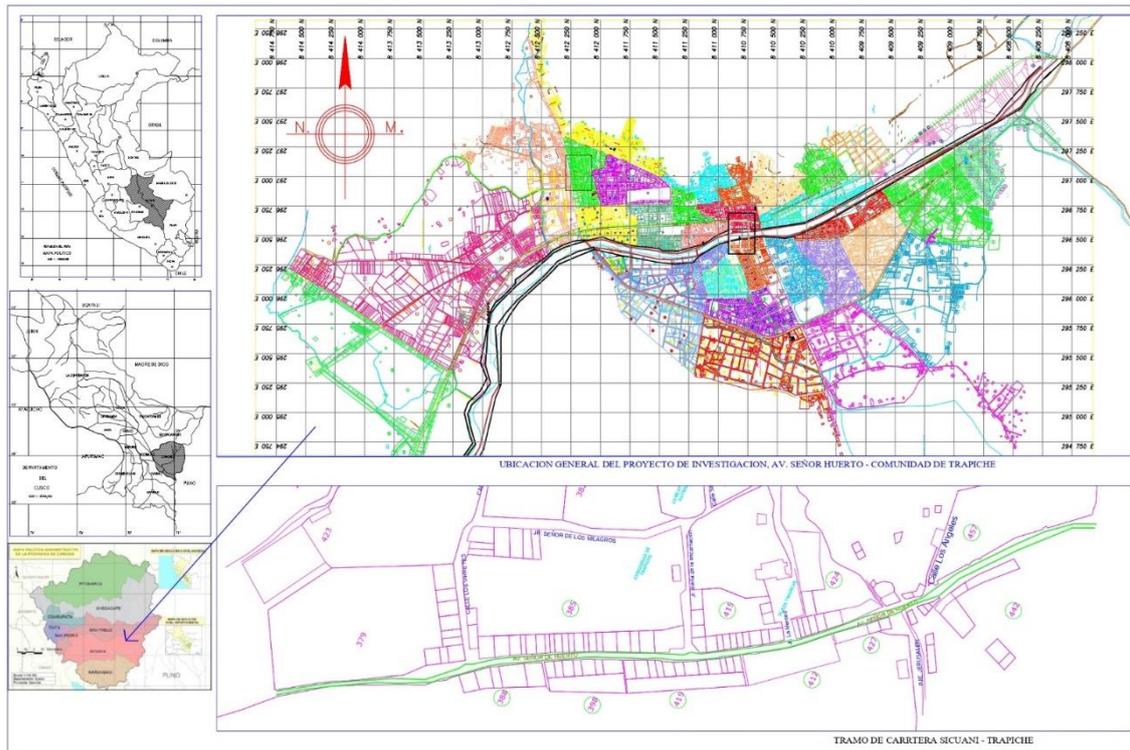


Figura 25. Plano de ubicación

Objetivo específico 1:

Granulometría

Luego de haber llevado a cabo todo el proceso mencionado en el manual de ensayo de material para el análisis de granulometría, se obtuvo en función a la curva granulométrica elaborada que:

La calicata C1 posee un 71.92% de grava, un 28.08% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS

La calicata C2 posee un 74.27% de grava, un 25.73% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS.

La calicata C3 posee un 74.00% de grava, un 26.00% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GM según SUCS.

El agregado obtenido de cantera posee un 83.01% de grava, un 16.99% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS.

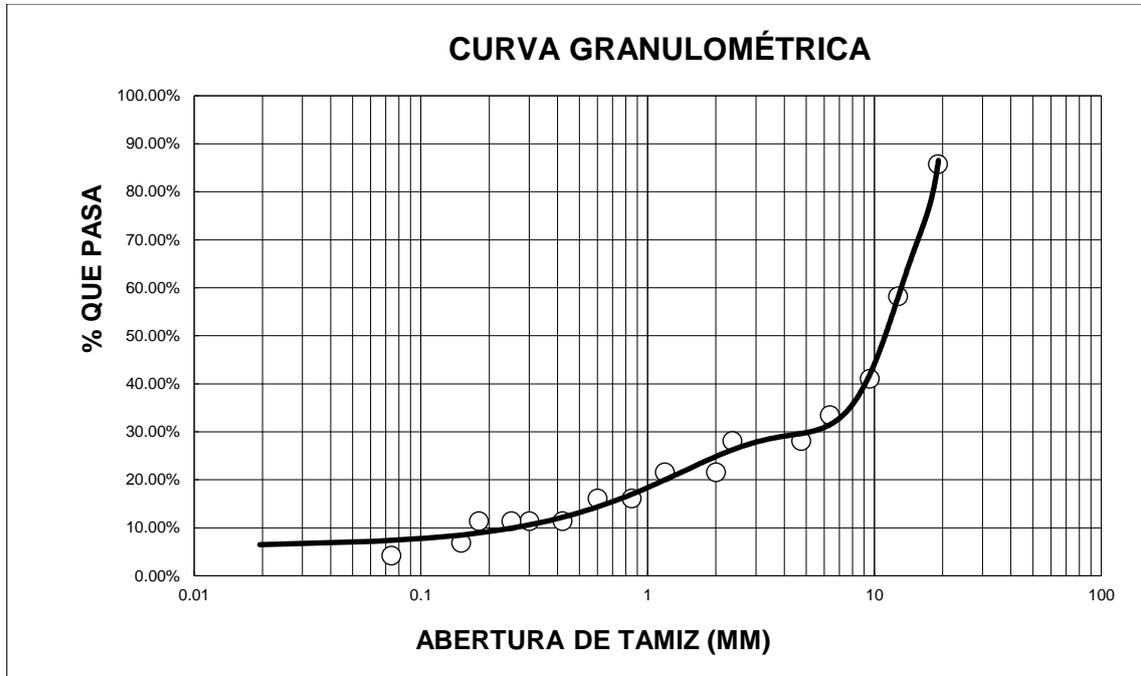


Figura 26. Curva granulométrica – calicata C1

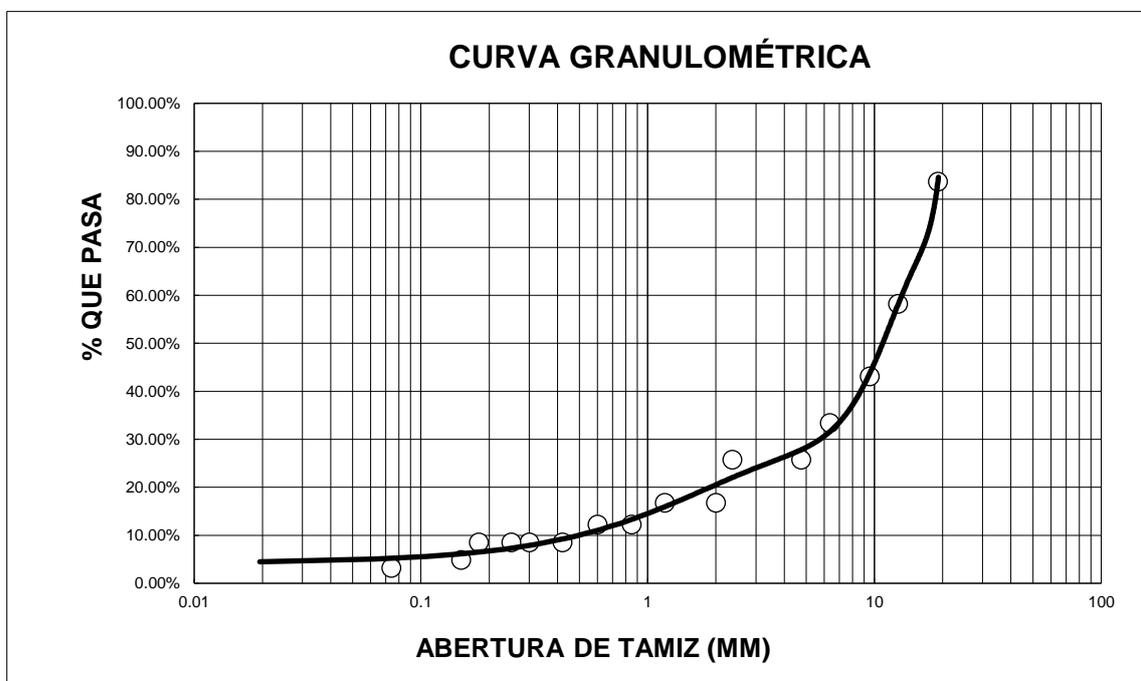


Figura 27. Curva granulométrica – calicata C2

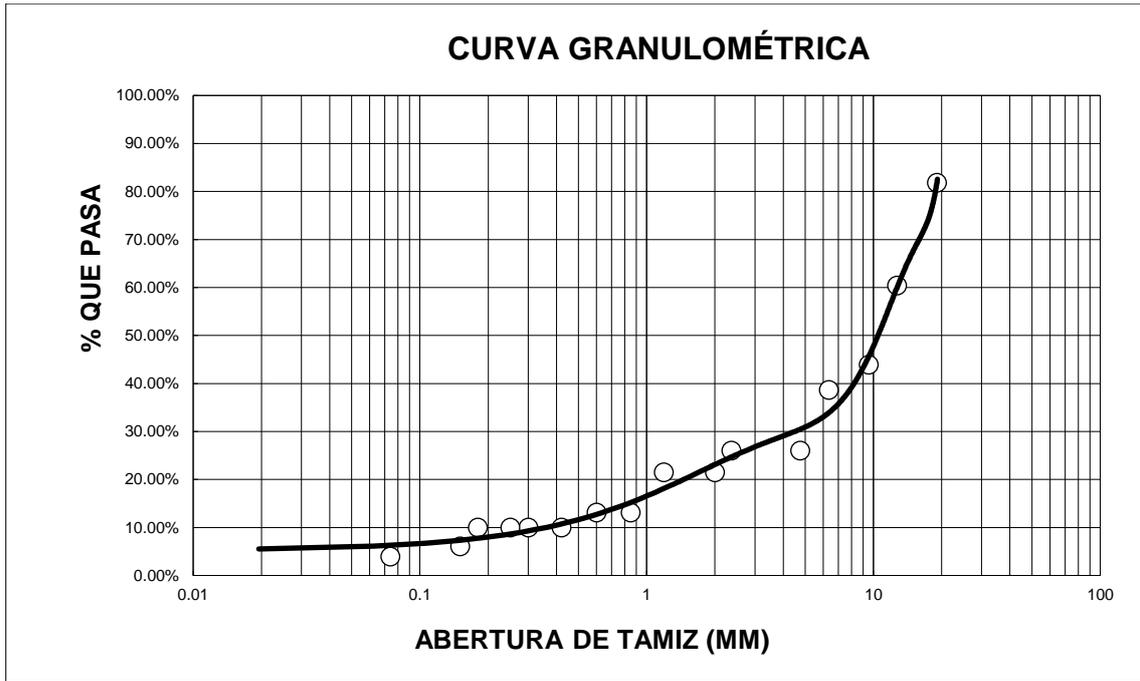


Figura 28. Curva granulométrica – calicata C3

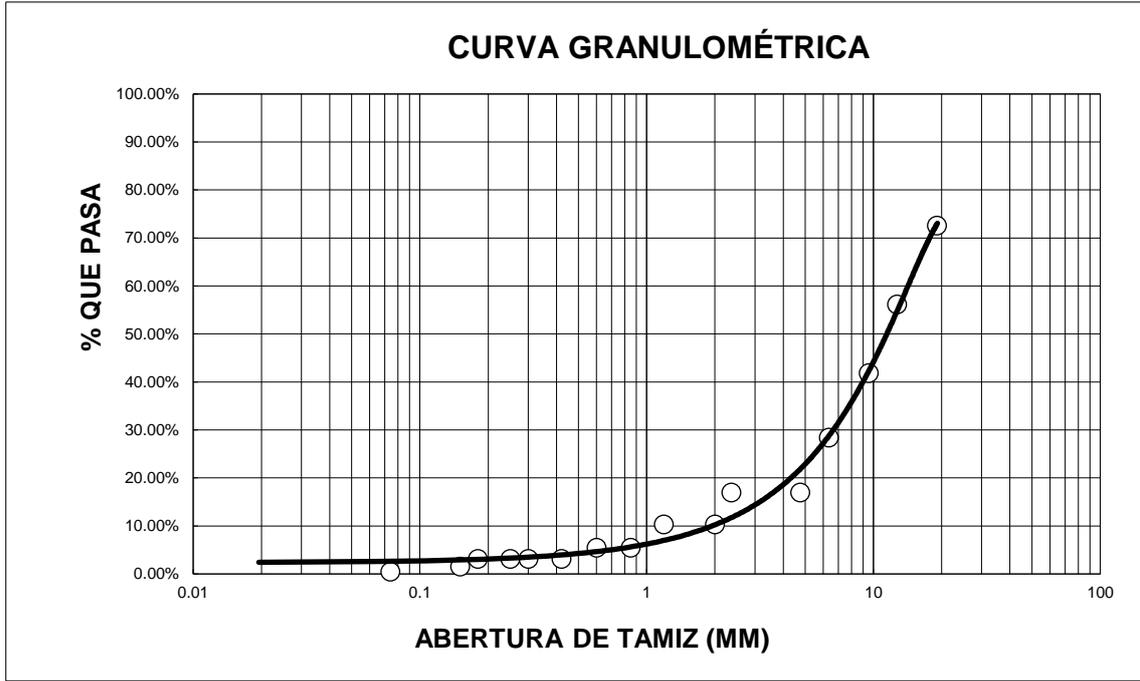


Figura 29. Curva granulométrica – agregado obtenido de cantera

Con lo cual, el porcentaje de material retenido en el tamiz N°200 se observa en las tablas 16 y 17:

Tabla 16. Resultados del análisis de granulometría del suelo natural

Muestra (M)	Suelo Natural	Porcentaje retenido en el tamiz N°200		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	2.7%	1.7%	2.2%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Resultados del análisis de granulometría del agregado obtenido de cantera

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Porcentaje retenido Tamiz N°4
M ₀	100%	0%	83.01%

Fuente: Elaboración propia

Objetivo específico 2:

Plasticidad

Se llevó a cabo el análisis del índice de plasticidad por medio de los límites de Atterberg, los cuales son el límite líquido y el límite plástico. Se realizó el ensayo tanto para el material del suelo natural como para el agregado obtenido de cantera, pero con las diversas dosificaciones planteadas para ver la variación de la plasticidad al adicionar las nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Con lo cual la plasticidad viene a ser la diferencia entre ambos límites, procediendo el cálculo de la siguiente forma:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 45.20\% - 30.25\%$$

$$IP = 14.95\%$$

Siendo el más representativo con el menor índice de plasticidad el de la calicata C2 con un 14.95% de índice de plasticidad y en el caso del agregado obtenido de cantera es el adicionado 15% de nanoplaquetas de beterraga azucarera con un 70.41% de índice de plasticidad.

En las tablas 18 y 19 se presenta el resumen del análisis de cálculo del límite líquido (LL) llevado a cabo para cada calicata (C1, C2 y C3); así como también para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Tabla 18. Resultados del ensayo de límite líquido del suelo natural

Muestra (M)	Suelo Natural	Límite líquido (%)		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	32.26	45.20	33.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Resultados del ensayo de límite líquido del agregado obtenido de cantera

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Límite líquido (%)
M ₀	100%	0%	36.33
M ₁	95%	5%	48.70
M ₂	90%	10%	60.03
M ₃	85%	15%	75.67
M ₄	80%	20%	67.43

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 20 y 21 se presenta el resumen del análisis de cálculo del límite plástico (LP) llevado a cabo para cada calicata (C1, C2 y C3); así como también para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Tabla 20. Resultados del ensayo de límite plástico del suelo natural

Muestra (M)	Suelo Natural	Límite plástico (%)		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	21.30	30.25	20.36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Resultados del ensayo de límite plástico del agregado obtenido de cantera

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Límite plástico (%)
M ₀	100%	0%	18.75
M ₁	95%	5%	10.14
M ₂	90%	10%	4.77
M ₃	85%	15%	5.26
M ₄	80%	20%	7.38

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 22 y 23 se presenta el resumen del análisis de cálculo del índice de plasticidad (IP) llevado a cabo para cada calicata (C1, C2 y C3); así como también para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Tabla 22. Resultados del índice de plasticidad del suelo natural

Muestra (M)	Suelo Natural	Plasticidad (%)		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	10.96	14.95	12.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Resultados del índice de plasticidad del agregado obtenido de cantera

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Plasticidad (%)
M ₀	100%	0%	17.58
M ₁	95%	5%	38.56
M ₂	90%	10%	55.27
M ₃	85%	15%	70.41
M ₄	80%	20%	60.05

Fuente: Elaboración propia

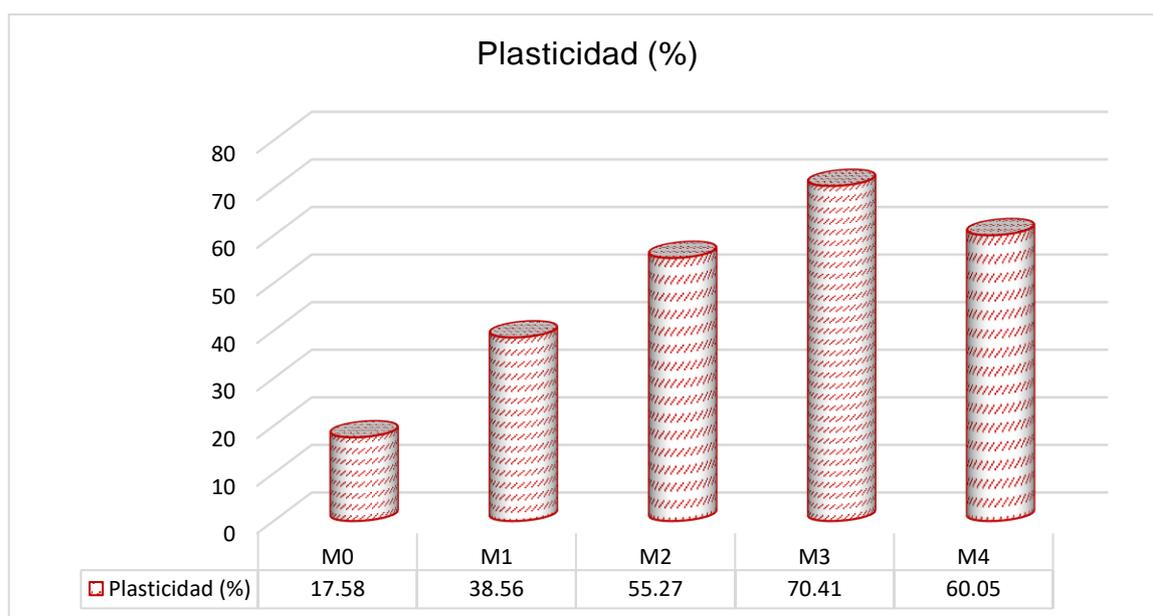


Figura 30. Resultados de plasticidad

Interpretación:

En la tabla 23 se aprecia que la Plasticidad (IP) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 17.58%, 38.56%, 55.27%, 70.41% Y 60.05% para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$ $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el valor más alto de plasticidad (IP) se presenta con la dosificación de $M_3(85\%A + 15\%NB)$ con un IP de $70.41\% \pm 0.5094\%$; en la figura 30 se aprecia que para mayores dosificaciones tiende a disminuir la plasticidad.

Objetivo específico 3:

Máxima densidad seca

Para determinar la MDS se llevó a cabo el ensayo de Proctor Modificado, para el cual es necesario tener el peso del recipiente más la muestra de suelo y el peso del recipiente, con ello se obtiene el peso de la muestra; seguidamente el peso del suelo húmedo compactado y el volumen del molde; con estos datos se obtiene el peso del suelo húmedo y peso del suelo seco para que finalmente se grafique la curva humedad-densidad y así obtener la máxima densidad seca para el óptimo contenido de humedad.

Masa del suelo compactado:

$$Mh = MT - Mm$$

$$Mh = 10900gr - 6048gr$$

$$Mh = 4852gr$$

Volumen del molde:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$V = 2110cm^3$$

Densidad húmeda:

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V}$$

$$\gamma_h = \frac{4852}{2110}$$

$$\gamma_h = 2.30 gr/cm^3$$

Porcentaje de humedad:

$$H = \frac{M_t - M_s}{M_s - M_c} \times 100$$
$$H = \frac{350 - 312}{312 - 0} \times 100$$
$$H = 12.18\%$$

Densidad seca:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{H_p}{100}}$$
$$\gamma_d = \frac{2.30}{1 + \frac{12.18}{100}}$$
$$\gamma_d = 2.05 \text{ gr/cm}^3$$

Se realizó el ensayo tanto para el material del suelo natural como para el agregado obtenido de cantera, pero con las diversas dosificaciones planteadas para ver la variación de la plasticidad al adicionar las nanoplaquetas de beterraga azucarera.

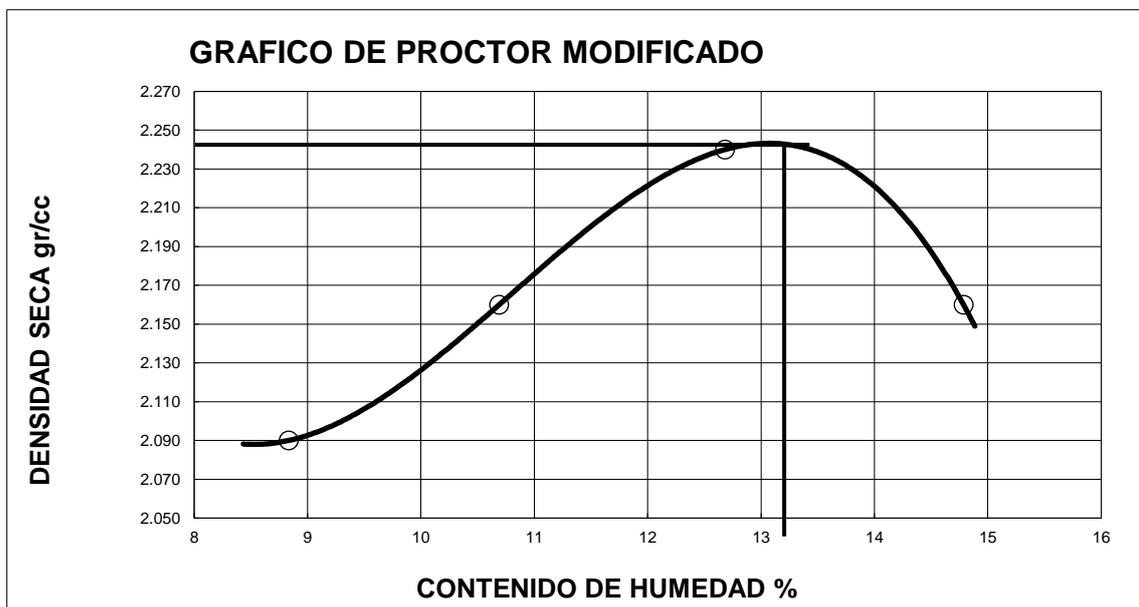


Figura 31. Curva humedad-densidad de la muestra más representativa

Con esta curva se determinó el punto más alto teniendo así nuestra MDS para cada muestra de cada calicata, siendo el más representativo el de la calicata C1 con un

1.78g/cm³ de MDS y en el caso del agregado obtenido de cantera es el adicionado 15% de nanoplaquetas de beterraga azucarera con un 2.26 g/cm³ de MDS.

En las tablas 24 y 25 se presenta el resumen del análisis de cálculo de la máxima densidad seca (MDS) llevado a cabo para cada calicata (C1, C2 y C3); así como también para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Tabla 24. *Resultados del ensayo de próctor modificado del suelo natural*

Muestra (M)	Suelo Natural	Densidad Máxima Seca (g/cm ³)		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	1.78	1.52	1.74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. *Resultados del ensayo de próctor modificado del agregado obtenido de cantera*

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Densidad Máxima Seca (g/cm ³)
M ₀	100%	0%	2.06
M ₁	95%	5%	2.16
M ₂	90%	10%	2.18
M ₃	85%	15%	2.26
M ₄	80%	20%	2.20

Fuente: Elaboración propia

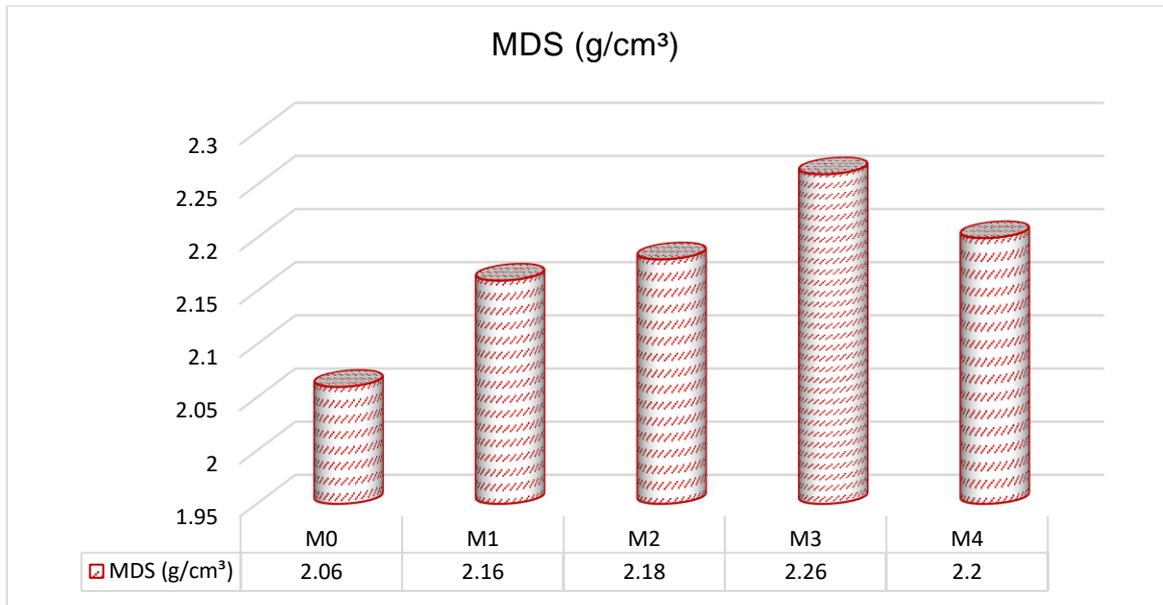


Figura 32. Resultados de máxima densidad seca

Interpretación:

En la tabla 25 se aprecia que la Máxima Densidad Seca (MDS) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 2.06g/cm³, 2.16g/cm³, 2.18g/cm³ 2.26g/cm³ y 2.20g/cm³ para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB) M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el valor máximo de la máxima densidad seca (MDS) se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con una MDS de 2.26g/cm³ ± 0.0099g/cm³; en la figura 32 se aprecia que para mayores dosificaciones tiende a disminuir la Máxima Densidad Seca.

Objetivo específico 4:

Capacidad resistente

Para determinar el CBR se llevó a cabo el ensayo de CBR en laboratorio, para lo cual fue necesario obtener el COH, la MDS y el número de golpes para cada dial; posterior a ello se realizó la corrección respectiva y se realizó la gráfica carga vs penetración para cada número de golpes.

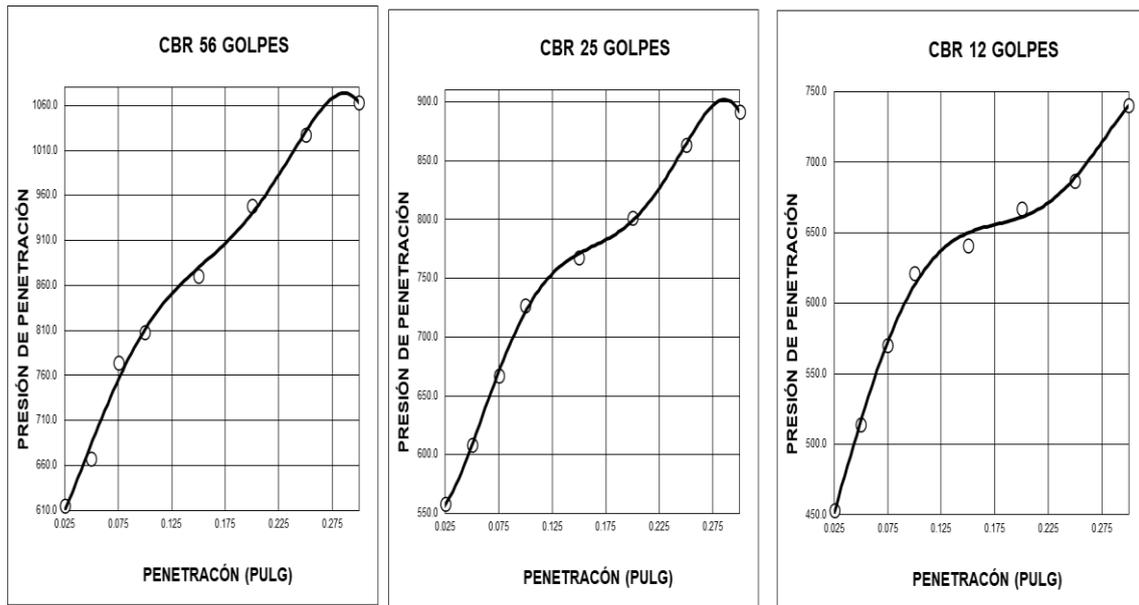


Figura 33. Curvas esfuerzo - penetración

Teniendo nuestras densidades secas, se procede a realizar la gráfica densidad seca vs CBR, para obtener nuestro CBR al 100% y al 95% para el dial 0.1". Teniendo así nuestro CBR al 95% de la MDS para cada calicata, siendo el más representativo el de la calicata C-3, con un 4.10% de CBR al 95% y en el caso del agregado obtenido de cantera es el adicionado 15% de nanoplaquetas de beterraga azucarera con un 80.0% de CBR al 95% de la MDS.

En las tablas 26 y 27 se presenta el resumen del análisis de cálculo de la máxima densidad seca (MDS) llevado a cabo para cada calicata (C1, C2 y C3); así como también para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera.

Tabla 26. Resumen del ensayo de CBR en laboratorio del suelo natural

Muestra (M)	Suelo Natural	CBR al 95% de la MDS (%)		
		C1	C2	C3
M ₀	100%	2.9	2.4	4.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Resumen del ensayo de CBR en laboratorio del agregado obtenido de cantera

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	CBR al 95% de la MDS (%)
M ₀	100%	0%	63.6
M ₁	95%	5%	67.5
M ₂	90%	10%	72.7
M ₃	85%	15%	80.0
M ₄	80%	20%	73.6

Fuente: Elaboración propia

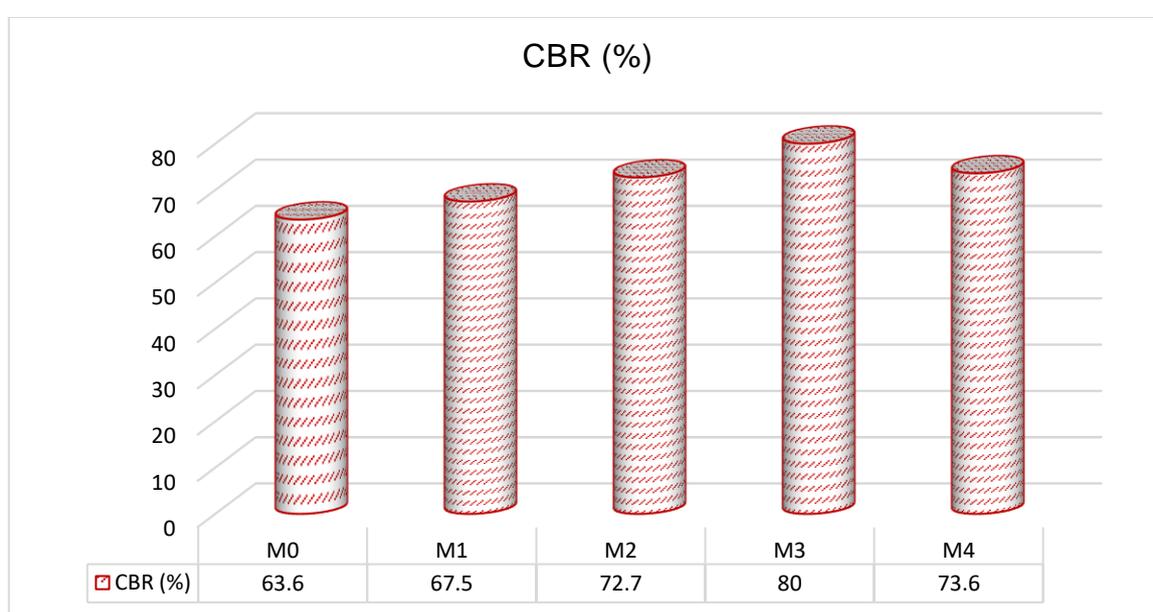


Figura 34. Resultados de capacidad resistente

Interpretación:

En la tabla 27 se aprecia que la Capacidad Resistente (CBR) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 63.6%, 67.5%, 72.7%, 80.0% y 73.6% para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB) M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el valor más alto de la capacidad resistente (CBR) se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con un CBR de 80.0% ± 0.5800%; en la figura 34 se aprecia que para mayores dosificaciones la Capacidad Resistente tiende a disminuir.

Objetivo específico 5:

Diseño estructural

Para determinar el espesor de la carpeta de rodadura se llevó a cabo el diseño mediante la guía de la AASHTO-93, para lo cual fue necesario obtener todos los parámetros anteriormente estudiados y en el caso del volumen, tipo de vehículo y carga por eje se tomó datos referenciales; así como las condiciones climáticas.

Utilizando los datos recopilados se determinó el número de ejes equivalentes de 18 kip (80 kN), las clases de tráfico, el período de diseño y el factor de carga. Se realizó el análisis estructural utilizando el método AASHTO-93 para calcular las solicitaciones en el pavimento, como el esfuerzo de flexión, el esfuerzo de corte y el esfuerzo de torsión. Este análisis tuvo en cuenta los parámetros de diseño y las propiedades del pavimento, como el espesor y la resistencia del concreto. Utilizando los resultados del análisis estructural se determinó el espesor del pavimento necesario para resistir las solicitaciones del tráfico y cumplir con los criterios de diseño establecidos por la AASHTO-93. Este cálculo tuvo en cuenta factores como el esfuerzo de flexión y la resistencia del concreto. Por último, también se diseñó las juntas como complemento, para lo cual se determinó la ubicación y el tipo de juntas necesarias en el pavimento rígido. Esto incluyó juntas de contracción, juntas de expansión y juntas de construcción.

En la tabla 28 se presenta el resumen del diseño estructural llevado a cabo para el agregado obtenido de cantera con sus diferentes dosificaciones de nanoplaquetas de beterraga azucarera, considerando los datos de la muestra más representativa de entre las 3 calicatas analizadas para obtener el diseño óptimo.

Tabla 28. Resumen del diseño estructural de la carpeta de rodadura

Muestra (M)	Agregado (A)	Nanoplaquetas de beterraga azucarera (NB)	Espesor de la carpeta (mm)
M ₀	100%	0%	200
M ₁	95%	5%	195
M ₂	90%	10%	175
M ₃	85%	15%	157
M ₄	80%	20%	176

Fuente: Elaboración propia

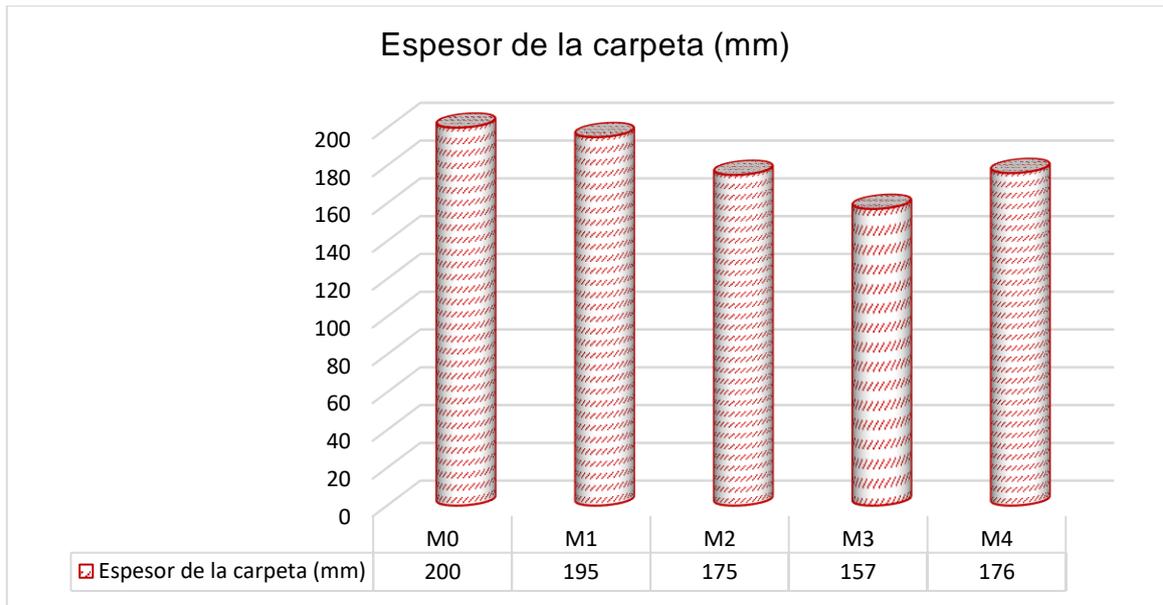


Figura 35. Resultados de diseño estructural

Interpretación:

En la tabla 28 se aprecia que el espesor de la carpeta de rodadura de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 200mm, 195mm, 175mm, 157mm y 176mm para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB) M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el espesor óptimo de la carpeta de rodadura se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con un espesor de 157mm ± 0.1800mm; en la figura 35 se aprecia que para mayores dosificaciones el espesor de la carpeta de rodadura tiende a incrementarse.

V. DISCUSIÓN

Discusión 01

Ferreira et al. (2017), propone evaluar el uso de una asociación polimérica, en el mejoramiento del comportamiento geotécnico de un suelo con problemas de resistencia, visando su uso como material para pavimentaciones viales con bajo volumen de tráfico. Esta investigación se basa en ensayos de caracterización geotécnica, compactación, ISC, (UCS RCS y permeabilidad, realizado con suelo puro y con adición de material polimérico en proporciones que varían entre 2% y 6%. La encuesta reveló aumentos considerables en los valores de ISC y RCS. Los resultados obtenidos revelaron que el uso de la asociación polimérica resultó en una disminución de la plasticidad, aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y de la expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo. aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo. aumento del contenido óptimo de humedad, reducción del peso seco aparente y expansión del suelo. Se concluyó, por tanto, que, a la luz de las especificaciones vigentes, la adición del 6% de la asociación polimérica al suelo clasificado como arcillo-arenoso-limoso con plasticidad expresiva promovió mejoras significativas en las propiedades geotécnicas del suelo.

Referente a la propuesta de Ferreira et al. (2017), la presente investigación obtiene como resultados que la Plasticidad (IP) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 17.58%, 38.56%, 55.27%, 70.41% Y 60.05% para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$ $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el valor más alto de plasticidad (IP) se presenta con la dosificación de

M₃(85%A + 15%NB) con un IP de 70.41% ± 0.5094%; en la figura 30 se aprecia que para mayores dosificaciones tiende a disminuir la plasticidad.

Discusión 02

Yan et al. (2022), realizaron un estudio para investigar la influencia de diferentes contenidos de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) en el comportamiento de la carretera en el material base estabilizado con cemento con agregado reciclado. Se evaluaron la resistencia, la resistencia a las heladas y la retracción. Los contenidos de RHA utilizados para reemplazar al cemento fueron 0%, 20%, 40%, 60% y 80% en peso, mientras que se reemplazó el 40% del agregado natural por agregado reciclado de residuos de construcción. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes: a medida que aumenta el contenido de RHA, la resistencia a la compresión no confinada y la resistencia a la división disminuyen en la mezcla con agregado reciclado. Sin embargo, el módulo de resiliencia a la compresión y la resistencia a la tracción por flexión de la mezcla muestran un aumento significativo. Por otro lado, la resistencia a las heladas se ve deteriorada con el aumento del contenido de RHA. Además, tanto el coeficiente de contracción en seco como el coeficiente de contracción por temperatura de la mezcla aumentaron de manera lineal con el aumento del contenido de RHA. En base a los resultados obtenidos, se recomienda que, para la mezcla con agregado reciclado, el contenido de RHA no supere el 40% en peso.

Referente a la propuesta de Yan et al. (2022), la presente investigación obtiene como resultados que la Máxima Densidad Seca (MDS) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 2.06g/cm³, 2.16g/cm³, 2.18g/cm³, 2.26g/cm³ y 2.20g/cm³ para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB), M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el valor máximo de la máxima densidad seca (MDS) se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con una MDS de 2.26g/cm³ ± 0.0099g/cm³; en la figura 32 se aprecia que para mayores dosificaciones tiende a disminuir la Máxima Densidad Seca.

Discusión 03

Marik et al. (2022), presentan un estudio sobre la aplicación del cemento y el aditivo StabilRoad, basado en sílice, para la estabilización de suelos de subrasante. Se

evaluó el efecto de la combinación de suelo, cemento y aditivo StabilRoad mediante características de compactación, la relación de carga de California (CBR) y la resistencia a la compresión no confinada (UCS) en diferentes porcentajes de cemento con la adición de este aditivo. El mecanismo subyacente del proceso de estabilización se analizó mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados indican una mejora en las propiedades mecánicas de la mezcla de suelo que contiene este aditivo. Al agregar un 1% de StabilRoad a la mezcla de suelo modificada con cemento, se observó un aumento del 72,413% en el valor de CBR (condición empapada) y un 79,16% en la resistencia UCS (28 días). Además, se desarrollaron varios modelos de regresión, como la regresión por cuantiles (QR), la regresión de mínimos cuadrados parciales (PSL-R) y los modelos de regresión lineal (LNR), para establecer la relación entre UCS y CBR con las propiedades rutinarias del suelo de subrasante. El modelo LNR demostró la mayor precisión predictiva en todos los casos. Se observó un aumento en la intensidad de los picos de CSH con la incorporación de este aditivo, lo cual es responsable de una mayor resistencia en la mezcla de suelo modificada. La estabilización de la subrasante con este aditivo también resultó en una reducción en el costo total al minimizar el espesor de la corteza del pavimento. En conclusión, esta investigación confirma la utilidad del cemento y el aditivo StabilRoad en la estabilización de subrasantes, con beneficios económicos significativos.

Referente a la propuesta de Marik et al. (2022), la presente investigación obtiene como resultados que la Capacidad Resistente (CBR) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 63.6%, 67.5%, 72.7%, 80.0% y 73.6% para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$, $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el valor más alto de la capacidad resistente (CBR) se presenta con la dosificación de $M_3(85\%A + 15\%NB)$ con un CBR de $80.0\% \pm 0.5800\%$; en la figura 34 se aprecia que para mayores dosificaciones la Capacidad Resistente tiende a disminuir.

Discusión 04

Tabatabaie et al. (2022), llevaron a cabo una investigación sobre la aplicación de agregados de concreto reciclado para mejorar las propiedades de resistencia de

suelos arcillosos reforzados con fibras de polímero provenientes de neumáticos reciclados y fibras de vidrio. Se realizaron ensayos de compresión no confinada y tracción indirecta en suelos compuestos por arcilla reforzada con un 0,5% de fibras y estabilizada con un contenido de agregados de hormigón reciclado del 5%, 10% y 15%. Los resultados obtenidos en el laboratorio mostraron que aumentar el contenido de agregados de concreto reciclado (RCA) y el tiempo de curado mejoraron significativamente las resistencias a la tracción y compresión no confinada en comparación con el suelo arcilloso sin refuerzo. Además, se observó que la relación entre la resistencia a la tracción y la compresión se mantuvo constante para los suelos compuestos, independientemente del tipo de fibra utilizada, la cantidad de RCA y la duración del curado. En términos de implicaciones prácticas, se concluyó que la arcilla reforzada con un 0,5% de fibras y estabilizada con un 10% de agregados de concreto reciclado es lo suficientemente resistente después de 28 días de curado para cumplir con los requisitos de resistencia de las capas de base en pavimentos flexibles y rígidos.

Referente a la propuesta de Tabatabaie et al. (2022), la presente investigación obtiene como resultados que el espesor de la carpeta de rodadura de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 5.05mm, 22.75mm, 35.50mm y 55.55mm para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$, $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el espesor óptimo de la carpeta de rodadura se presenta con la dosificación de $M_3(85\%A + 15\%NB)$ con un espesor de $55.55\text{mm} \pm 0.5800\text{mm}$; en la figura 36 se aprecia que para mayores dosificaciones el espesor de la carpeta de rodadura tiende a incrementarse.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión 01 granulometría

El análisis de granulometría se obtuvo en función a la curva granulométrica elaborada que:

La calicata C1 posee un 71.92% de grava, un 28.08% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS

La calicata C2 posee un 74.27% de grava, un 25.73% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS.

La calicata C3 posee un 74.00% de grava, un 26.00% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GM según SUCS.

El agregado obtenido de cantera posee un 83.01% de grava, un 16.99% de arena, con lo cual, según la clasificación AASHTO es un suelo A-2-5 y GP según SUCS.

Conclusión 02 plasticidad

La Plasticidad (IP) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 17.58%, 38.56%, 55.27%, 70.41% Y 60.05% para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB) M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el valor más alto de plasticidad (IP) se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con un IP de 70.41% ± 0.5094%; para mayores dosificaciones tiende a disminuir la plasticidad.

Conclusión 03 Densidad seca

En la tabla 25 se aprecia que la Máxima Densidad Seca (MDS) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 2.06g/cm³, 2.16g/cm³, 2.18g/cm³ 2.26g/cm³ y 2.20g/cm³ para dosificaciones de M₀(100%A + 0%NB), M₁(95%A + 5%NB), M₂(90%A + 10%NB) M₃(85%A + 15%NB) y M₄(80%A + 20%NB) respectivamente. Donde el valor máximo de la máxima densidad seca (MDS) se presenta con la dosificación de M₃(85%A + 15%NB) con una MDS de 2.26g/cm³ ± 0.0099g/cm³; para mayores dosificaciones tiende a disminuir la Máxima Densidad Seca.

Conclusión 04 capacidad resistente

La Capacidad Resistente (CBR) de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 63.6%, 67.5%, 72.7%, 80.0% y 73.6% para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$, $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el valor más alto de la capacidad resistente (CBR) se presenta con la dosificación de $M_3(85\%A + 15\%NB)$ con un CBR de $80.0\% \pm 0.5800\%$; para mayores dosificaciones la Capacidad Resistente tiende a disminuir.

Conclusión 05 espesor de la carpeta de rodadura

El espesor de la carpeta de rodadura de la base estabilizada con adición de nanoplaquetas de beterraga azucarera varía de 200mm, 195mm, 175mm, 157mm y 176mm para dosificaciones de $M_0(100\%A + 0\%NB)$, $M_1(95\%A + 5\%NB)$, $M_2(90\%A + 10\%NB)$, $M_3(85\%A + 15\%NB)$ y $M_4(80\%A + 20\%NB)$ respectivamente. Donde el espesor óptimo de la carpeta de rodadura se presenta con la dosificación de $M_3(85\%A + 15\%NB)$ con un espesor de $157\text{mm} \pm 0.1800\text{mm}$; para mayores dosificaciones el espesor de la carpeta de rodadura tiende a incrementarse.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación 01

Se recomienda emplear el 15% de aditivo de beterraga azucarada respecto al peso de la muestra de suelo para alcanzar la plasticidad óptima de la base estabilizada, ya que al incrementar estas dosificaciones en diferentes combinaciones tiende a convertirse en un suelo no plástico. Por ende, el agente estabilizante más influyente es el aditivo de la beterraga azucarada.

Recomendación 02

Se recomienda emplear un 15% del aditivo beterraga azucarada respecto al peso de la muestra de suelo para alcanzar la Máxima Densidad Seca óptima de la base estabilizada, ya que al incrementar estas dosificaciones en diferentes combinaciones tiende a disminuir la MDS. Por ende, el agente estabilizante más influyente es el aditivo beterraga azucarada.

Recomendación 03

Se recomienda emplear una combinación máxima del 15% de aditivo beterraga azucarada. Respecto al peso de la muestra de suelo para alcanzar la Capacidad Resistente óptima de la base estabilizada, ya que al incrementar estas dosificaciones en diferentes combinaciones el CBR tiende a ser el mismo. Por ende, el agente estabilizante más influyente es el aditivo beterraga azucarada.

Recomendación 04

Se recomienda emplear una combinación máxima del 15% de aditivo beterraga azucarada. respecto al peso de la muestra de suelo para alcanzar el espesor la carpeta de rodadura de la base estabilizada, ya que al incrementar estas dosificaciones en diferentes combinaciones. Por ende, el agente estabilizante más influyente es el aditivo beterraga azucarada.

REFERENCIAS

- AASHTO, 2018. Guide for Design of Pavement Structures. ,
- ACI, 1997. Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads. ,
- ACPA, 2021. Pavimentos de concreto - ¿Qué son y cuáles son sus ventajas? [en línea], Disponible en: <https://www.cement.org/concrete-basics/concrete-projects/pavements>.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE.UU., 2019. Información sobre emisiones de cemento y cal. [en línea], Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/information-cement-and-lime-emissions>.
- BANSAL, R., 2010. *A Textbook of Strength of Materials*. S.l.: s.n.
- CELLUCOMP, B., 2018. Propiedades físicas de nanoplaquetas de beterraga azucarera. ,
- CICA, 2018. Guía de diseño para pavimentos de concreto de carreteras en Australia. [en línea], Disponible en: <https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t195-08>.
- CONCYTEC, 2020. *Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo (I+D)*. S.l.: s.n.
- CONSTRUNEIC, 2021. Pavimento Rígido. [en línea], Disponible en: <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-rigido/>.
- DAS, B., 2016. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Le. S.l.: s.n.
- DELBONO, H., 2019. Restauración de pavimentos: adherencia entre capas con interposición de geosintético de diferente abertura de malla. *Revista ingeniería de construcción* [en línea], vol. 34, no. 3, ISSN 0718-5073. DOI 10.4067/S0718-50732019000300307. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732019000300307&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- FEDERACIÓN INTERNACIONAL DEL HORMIGÓN, 2021. Pavimentos de concreto para tráfico pesado. ,
- FERREIRA, L., CAVALCANTE, E., SILVA, F. y COSTA, A., 2017. Adição de uma associação polimérica a um solo argilo-arenoso com vistas à estabilização química de materiais para pavimentos. *Matéria (Rio de Janeiro)* [en línea], vol. 22, no. 3, ISSN 1517-7076. DOI 10.1590/s1517-707620170003.0204.

- Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000300420&lng=pt&tlng=pt.
- FHWA, 2021. Pavement Design Guide - Pavement Types. [en línea], Disponible en: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=233.
- FOWLER, D., 2016. Engineering and Design - Rigid Pavement Design. *US Army Corps of Engineers* [en línea], Disponible en: https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-3-142.pdf.
- GAO, Y., WEI, J., ZHU, J. y ZHANG, Y., 2020. Influence of cellulose nanoplatelets on the properties of cement-based materials: A review. *Nanomaterials*, vol. 10, DOI 10.3390/nano10040640.
- HEEDERIK, D. y BROUWER, D., 2019. Airborne occupational exposures in the construction industry. *Science of the Total Environment*, vol. 658, DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.12.244.
- HERNANDEZ, R., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, M. del P., 2018. *Metodología de la Investigación*. S.l.: s.n. ISBN 9786071502919.
- JORDAAN, G. y STEYN, W., 2021. Nanotechnology Incorporation into Road Pavement Design Based on Scientific Principles of Materials Chemistry and Engineering Physics Using New-Age (Nano) Modified Emulsion (NME) Stabilisation/Enhancement of Granular Materials. *Applied Sciences* [en línea], vol. 11, no. 18, ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app11188525. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/18/8525>.
- LANCASTER UNIVERSITY, 2018a. Vegetables could hold the key to stronger buildings and bridges. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.lancaster.ac.uk/news/vegetables-could-hold-the-key-to-stronger-buildings-and-bridges>.
- LANCASTER UNIVERSITY, 2018b. Vegetables could hold the key to stronger buildings and bridges. [en línea], Disponible en: <https://www.lancaster.ac.uk/news/vegetables-could-hold-the-key-to-stronger-buildings-and-bridges>.
- LIME, 2006. Estabilización y modificación con cal. *Manual de estabilización de suelo tratado con cal* [en línea], vol. 326, Disponible en: https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/construct-

- manual-spanish2004.pdf.
- LIU, J. y ZHOU, F., 2015. Impact of subgrade quality on pavement performance. *Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2263, DOI 10.3141/2263-09.
- MARIK, S., R.N., G.D.R., SINGH, A. y KHOT, P., 2022. Investigation on use of silica based additive for sustainable subgrade construction. *Case Studies in Construction Materials* [en línea], vol. 17, ISSN 22145095. DOI 10.1016/j.cscm.2022.e01229. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214509522003618>.
- MINGLONG, W., SHUAIDI, Z. y WENWEN, Z., 2020. One-Step Preparation of Sugar Beet Nanoplatelets with a Unique Crystal Structure for High-Performance Li-Ion Battery Anodes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 12, no. 16, DOI 10.1021/acsami.0c03196.
- MONTEJO, A., 2006. *Ingeniería de Pavimentos* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-958-976179--3. Disponible en: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/62106>.
- MURTHY, V., 2014. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. *CRC Press*,
- NORMA TÉCNICA PERUANA, 2016. *CE.010 Pavimentos urbanos* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Pavimentos_Urbanos.pdf.
- ONROAD, 2022. Pavimento rígido. [en línea]. Disponible en: <https://www.onroad.to/teorico/clases-autoescuela/carretera/via/via-pavimentada/tipos-pavimentos/pavimento-rigido>.
- ORDUZ DUARTE, E.J. y PINEDA JAIMES, J.A., 2017. Performance of a reinforced pavement structure with geocells via numerical simulation, considering a discontinuous subgrade. *2017 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)* [en línea]. S.l.: IEEE, pp. 1-6. ISBN 978-1-5386-0624-7. DOI 10.1109/CONIITI.2017.8273336. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8273336/>.
- PCA, 1993. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. ,
- PUCHA AGUINSACA, P.A. y ZÁRATE TORRES, B.A., 2020. Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances Investigación en Ingeniería*

- [en línea], vol. 17, no. 2, ISSN 2619-6581. DOI 10.18041/1794-4953/avances.2.6599. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/6599>.
- RAO, S., 2015. *Principles of Pavement Design*. CRC Press,
- SAAFI, M., YE, J. y LAMBERT, C., 2020. Biomateriales derivados del desperdicio de alimentos como ruta verde para el diseño de compuestos cementosos ecológicos, inteligentes y de alto rendimiento para la infraestructura construida multifuncional de próxima generación. [en línea], Disponible en: [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/upmprojects/msi-biomaterials-derived-from-food-waste-as-a-green-route-for-the-design-of-ecofriendly-smart-and-high-performance-cementitious-composites-for-the-next-generation-multifunctional-built-infrastructure\(8](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/upmprojects/msi-biomaterials-derived-from-food-waste-as-a-green-route-for-the-design-of-ecofriendly-smart-and-high-performance-cementitious-composites-for-the-next-generation-multifunctional-built-infrastructure(8).
- SMITH, R., 2001. *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. American Society of Civil Engineers. S.l.: s.n.
- TABATABAIE, P., MASOUDI, A., HEYDARI, F. y BINESH, S., 2022. Application of recycled concrete aggregates for stabilization of clay reinforced with recycled tire polymer fibers and glass fibers. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 355, ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129172. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061822028288>.
- TAMAYO y TAMAYO, 1999. *Aprende a investigar*. S.l.: s.n.
- TAN, C. y CHAN, M., 2020. Unconfined Compressive Strength of Chemical Stabilised Recycled Asphalt Pavement (RAP) and Crusher Run Mixture for Road Base Course Application. [en línea], Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/616/1/012045>.
- TEJEDA, E., RODRIGUEZ, E., HERNANDEZ, F., RECAREY, C., MUNIZ, M. y CELIGUETA, M., 2021. Development and application of advanced technologies for the study of the performance and improvement of rigid pavement design methods. *Revista técnica de la asociación española de la carretera* [en línea], vol. 235, Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/ejemplar?codigo=601527&info=open_link_ejemplar.
- TEPKE, D., 2017. *Highway Engineering: Pavements, Materials, and Control of*

- Quality. *John Wiley & Sons*,
- TIWARI, N. y SATYAM, N., 2022. An experimental study on strength improvement of expansive subgrades by polypropylene fibers and geogrid reinforcement. *Scientific Reports* [en línea], vol. 12, no. 1, ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/s41598-022-10773-0. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-10773-0>.
- TXDOT, 2020. Flexible Pavement Design Manual. [en línea]. Disponible en: <https://www.txdot.gov/inside-txdot/division/transportation-planning-and-programming/pavement/flexible-pavement-design-manual.html>.
- UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, 2017. Los trabajadores de la construcción corren un riesgo de problemas respiratorios debido a la exposición a partículas finas de concreto. [en línea]. Disponible en: <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130725113210.htm>.
- WIRANATA, D., YANG, S.-H., AKGUL, C., HSIEN, H. y NUGRAHA, M.Z.P., 2022. Use of coal ash cement stabilized material as pavement base material: Laboratory characterization and field evaluation. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 344, ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.128055. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061822017214>.
- YAN, K., LAN, H., LI, Q., GE, D. y LI, Y., 2022. Optimum utilization of recycled aggregate and rice husk ash stabilized base material. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 348, ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.128627. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006182202284X>.
- YU, S., WU, X., ZHAO, J., CUI, H. y JIN, R., 2019. Mechanical and thermal properties of graphene nanoplatelets-reinforced mortar composites. *Construction and Building Materials*, vol. 222, DOI 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.017.

ANEXOS

Matriz de Operacionalización de Variables

Título: Estabilización de la base del pavimento rígido incorporando nanoplaquetas de beterraga azucarera - Vía Agua Buena - Willkarpay, Cusco, 2022

Autor: Monzón Condori, José Alfredo

VARIABLE INDEPENDIENTE (X)	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Nanoplaquetas de beterraga azucarera	Fibras de refuerzo con propiedades mecánicas superiores a las del cemento y una adecuada composición en su microestructura. Es capaz de reducir la emisión del CO ₂ al entrar en contacto con el cemento. (Lancaster University 2018a)	Se llevará a cabo una Sintetización de la beterraga mediante la adición de hidróxido de potasio para obtener las nanoplaquetas, las cuales serán dosificadas en un cierto porcentaje respecto al peso de la muestra que se utilizará.	Sintetización	Hidróxido de potasio (mol)	De razón
			Porcentaje de adición	0%, 5%, 10%, 15% y 20% (g)	De razón
VARIABLE INDEPENDIENTE (Y)	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Estabilización de la base de un pavimento rígido	Esta estabilización es aplicada para proyectos nuevos y de rehabilitación de vías, buscando mejorar las capacidades de resistencia para evitar un movimiento de todo el suelo conformante. (Lime 2006)	Las muestras de base estabilizada y la muestra patrón serán llevadas a laboratorio para realizarles los ensayos de Granulometría para la caracterización de materiales y para determinar las propiedades en las cuales mejora se realizará los ensayos de Límites de Atterberg, Próctor Modificado y CBR; para luego realizar el diseño estructural del pavimento rígido.	Granulometría	Análisis granulométrico (%)	De razón
			Plasticidad	Índice de plasticidad (%)	De razón
			Máxima Densidad Seca	MDS (g/cm ³)	De razón
			Capacidad Resistente	CBR (%)	De razón
			Diseño estructural	Espesor del pavimento (mm)	De razón

Matriz de Consistencia

Título: Estabilización de la base del pavimento rígido incorporando nanoplaquetas de beterraga azucarera - Vía Agua Buena - Willkarpay, Cusco, 2022

Autor: Monzón Condori, José Alfredo

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE (X)	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la estabilización de la base de un pavimento rígido?	Determinar la influencia de la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la estabilización de la base de un pavimento rígido.	La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora las propiedades físicas y mecánicas de la base de un pavimento rígido.	Nanoplaquetas de beterraga azucarera	Sinterización	Hidróxido de Potasio (mol)	Probeta
				Porcentaje de adición	0%, 5%, 10%, 15% y 20% (g)	Balanza con 0.1g de sensibilidad
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE (Y)	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cuál será la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido?	Determinar la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido.	Se posee los resultados de la granulometría del material granular de la base de un pavimento rígido.	Estabilización de la base de un pavimento rígido	Granulometría	Análisis granulométrico (%)	MTC E107 Análisis granulométrico por tamizado
¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la plasticidad de la base de un pavimento rígido?	Determinar la plasticidad de la base de un pavimento rígido, con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera.	La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la plasticidad de la base de un pavimento rígido.		Plasticidad	Índice de plasticidad (%)	MTC E110 Ensayo de límites de consistencia
¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la máxima densidad seca de la base de un pavimento rígido?	Determinar la máxima densidad seca de la base de un pavimento con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera.	La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la máxima densidad seca de la base de un pavimento rígido.		Máxima Densidad Seca	MDS (g/cm ³)	MTC E115 Ensayo de Próctor modificado
¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en la capacidad resistente de la base de un pavimento rígido?	Determinar la capacidad resistente de la base de un pavimento con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera.	La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera mejora la capacidad resistente de la base de un pavimento rígido.		Capacidad Resistente	CBR (%)	MTC E132 Ensayo de CBR de suelos
¿De qué manera influye la incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera en el resultado del diseño estructural del pavimento rígido?	Determinar el resultado del diseño del pavimento rígido con incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera.	La incorporación de nanoplaquetas de beterraga azucarera influye en la variación del espesor del pavimento rígido.		Diseño estructural	Espesor del pavimento (mm)	MTC-AASHTO 93



Universidad Cesar Vallejo
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA SECA (MDS)

PROYECTO:	ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOFLEJAS DE BETERRAGA AZUCARADA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022	UBICACIÓN:	AGUA BUENA - WILLKARPAY - SAN SEBASTIAN - CUSCO
SOLICITA:	BACH. JOSÉ ALFREDO MONZÓN CONDORI	PROFUNDIDAD:	1.50 m
FECHA:	CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2022	MUESTRA:	CALICATA C-X
		DOSIFICACIÓN:	S + NB

Determinación	No	1	2	3	4	5
Peso del Molde y Muestra	gr.					
Peso del Molde	gr.					
Peso de la Muestra Compacta	gr.	0	0	0	0	0
Densidad Humedad	gr/cc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Densidad Seca	gr/cc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CONTENIDO DE HUMEDAD

Tarro	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso del Tarro	gr.										
Peso del T. + Suelo Humedo	gr.										
Peso del T. + Suelo Seco	gr.										
Peso del Agua	gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso del Suelo Seco	gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contenido de Humedad	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad Promedio	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DENSIDAD MAXIMA = 0.000 Tn/m³ **HUMEDAD OPTIMA =** 0.00%



Bryane Edward Sotelo Condori

Bryane Edward Sotelo Condori
 ING. CIVIL
 CIP. N° 277818



Universidad Cesar Vallejo
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE CAPACIDAD RESISTENTE (CBR)

PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPARTÍCULAS DE BETERRAGA AZUCARADA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA: BACH. JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
FECHA: CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2022

UBICACIÓN: AGUA BUENA - WILLKARPAY - SAN SEBASTIAN - CUSCO
PROFUNDIDAD: 1.50 m
MUESTRA: CALICATA C-X
DOSIFICACIÓN: S + NB

DATOS GENERALES

Maxima Densidad Seca (Kg/ m3)		Peso del martillo	Clasificación de Suelos:
Humedad Optima		Altura del martillo	SUCS :
Humedad Natural		Número de Capas	AASHTO :

DATOS DE COMPACTACION	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	56 GOLPES		25 GOLPES		12 GOLPES	
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)						
Peso del Molde (gr)	0		0		0	
Peso de la Muestra Compacta (gr)	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	
Densidad Humeda (gr/cm3)	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	
Densidad Seca (gr/cm3)	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	

DATOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	9	6	5	54	11	44
Peso del Tarro (gr)						
Peso del Tarro + Suelo Humedo (gr)						
Peso del Tarro + Suelo Seco (gr)						
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Suelo Seco (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Contenido de Humedad Promedio	0.00%		0.00%		0.00%	

DATOS DE ABSORCION	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	Peso M+M C. despues de Inmersión (gr)					
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)	0		0		0	
Porcentaje de Absorción	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	

DATOS DEL MOLDE (cm)

Altura
Diam.
Volum.



ENSAYO DE EXPANSION			MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
CTE. DIAL EXPANSION			DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSC.									
		00 horas	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
		24 horas	5	0.000	#DIV/0!	8	0.000	#DIV/0!	12	0.000	#DIV/0!
		48 horas	9	0.000	#DIV/0!	15	0.000	#DIV/0!	22	0.000	#DIV/0!
		72 horas	12	0.000	#DIV/0!	20	0.000	#DIV/0!	32	0.000	#DIV/0!
		96 horas	18	0.000	#DIV/0!	29	0.000	#DIV/0!	37	0.000	#DIV/0!

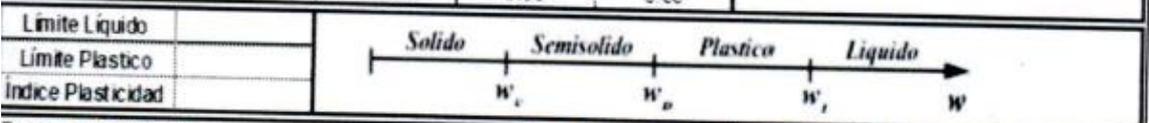
ENSAYO DE PENETRACION											
CTE. ANILLO=		4.588519115"DIAL+24.68140269									
AREA PISTON		3.0 Pulg. Cuadradas									
TIEMPO	PENETRACION		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
	(mm)	(pulg)	DIAL	CARGA	ESFUER.	DIAL	CARGA	ESFUER.	DIAL	CARGA	ESFUER.
				Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.5 min	0.64	0.025	80	392	131	50	254	85	20	116	39
1.0 min	1.27	0.050	145	690	230	90	438	146	35	185	62
1.5 min	1.91	0.075	215	1011	337	140	667	222	70	346	115
2.0 min	2.54	0.100	270	1264	421	200	942	314	100	484	161
4.0 min	5.08	0.200	340	1585	528	245	1149	383	130	621	207
6.0 min	7.62	0.300	400	1860	620	300	1401	467	170	805	268
8.0 min	10.16	0.400	470	2181	727	350	1631	544	200	942	314
10.0 min	12.70	0.500	545	2525	842	395	1837	612	240	1126	375



Bryam Eduardo Sotelo Condori
Bryam Eduardo Sotelo Condori
ING. CIVIL
CIP. N° 277818

PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RIGIDO INCORPORANDO NANOPARTICULAS DE BETERRAGA AZUCARADA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
FECHA: CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2022
UBICACIÓN: AGUA BUENA - WILLKARPAY - SAN SEBASTIAN - CUSCO
MUESTRA: CALCATA C-1
PETICIONARIO: BACH. JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)	NORMAS REFERENCIALES
100		100.00	0.00	0.00	
80		100.00	0.00	0.00	
63		100.00	0.00	0.00	Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado UNE 100 101 1995
50		100.00	0.00	0.00	
40		100.00	0.00	0.00	SUELOS GRANULARES
25		100.00	0.00	0.00	
20		100.00	0.00	0.00	SUELOS COHESIVOS
12.5		100.00	0.00	0.00	
10		100.00	0.00	0.00	
6.3		100.00	0.00	0.00	
5		100.00	0.00	0.00	
2		100.00	0.00	0.00	
1.25		100.00	0.00	0.00	
0.4		100.00	0.00	0.00	
0.160		100.00	0.00	0.00	
0.080		100.00	0.00	0.00	

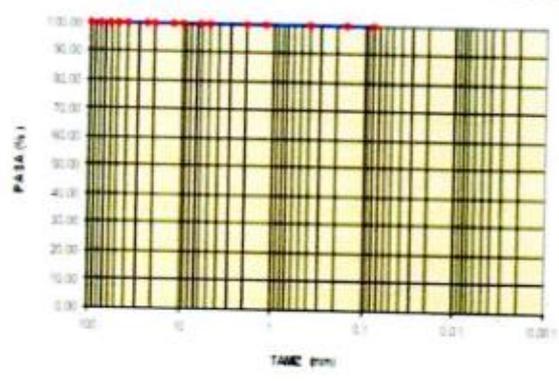


Pasa tamiz N° 4 (5mm): 100.00 %
 Pasa tamiz N° 200 (0.080 mm): 100.00 %
 D60:
 D30:
 D10 (diámetro efectivo):
 Coeficiente de Uniformidad (Cu):
 Grado de Curvatura (Cc):

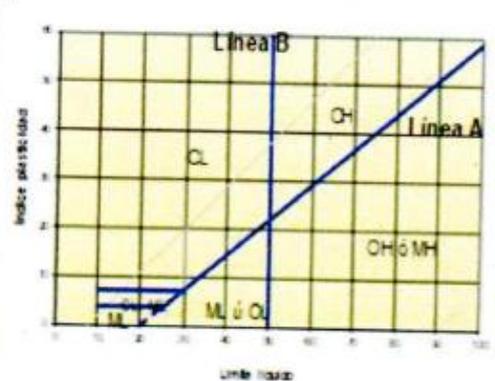
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Bruce Ramiro Antonio Choquepuma
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 206638
 VERIFICACION CUSCO
 IN N° 014316402RX

TIPO DE SUELO	GRUPO	GRUPO	GRUPO
SUELOS GRANULARES	GW	GM	GC
SUELOS COHESIVOS	OH	CH	MH

GRANULOMETRIA



Abaco de Casagrande





Universidad Cesar Vallejo
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Esuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA SECA (MDS)

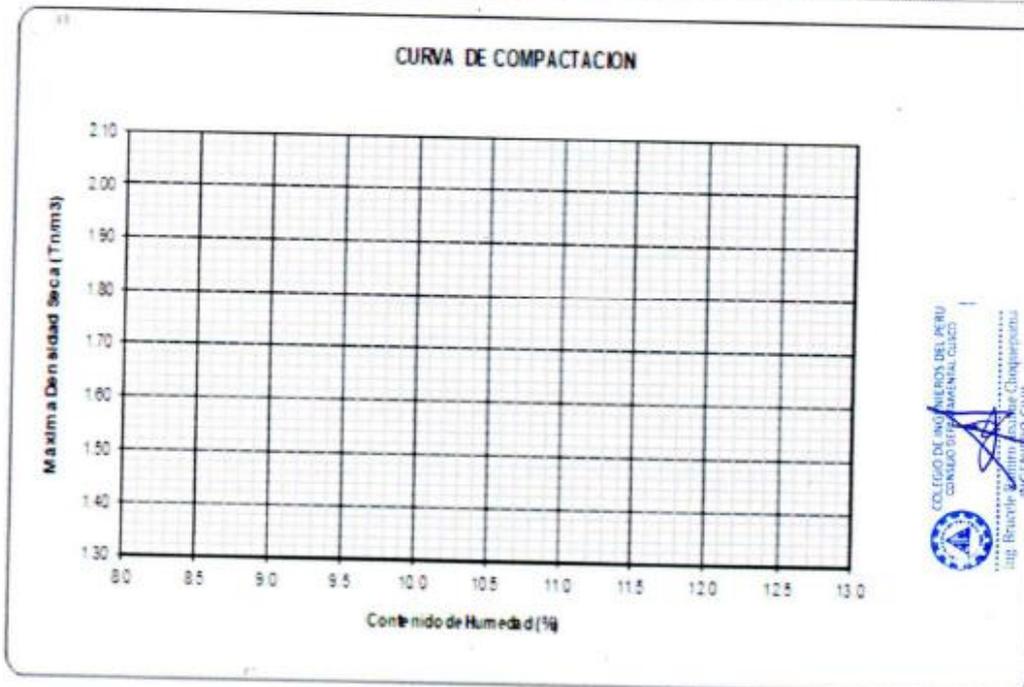
PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPARTÍCULAS DE BETERRAGA AZUCARADA - VÍA A GUA BUENA - WILLKARRAY, CUSCO 2022
 UBICACIÓN: AGUA BUENA - WILLKARRAY - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
 SOLICITA: BACH. JOSE ALFREDO MONZON CONDOR
 PROFUNDIDAD: 1.50 m
 MUESTRA: CALICATA C-X
 FECHA: CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2022
 DOSIFICACIÓN: 3 + NB

Determinación	No	1	2	3	4	5
Reso del Molde + Muestra	gr					
Reso del Molde	gr					
Reso de la Muestra Compacta	gr	0	0	0	0	0
Densidad Humedad	gr/cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Densidad Seca	gr/cc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CONTENIDO DE HUMEDAD

Tarso	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reso del Tarso	gr										
Reso del T. + Suelo Humedo	gr										
Reso del T. + Suelo Seco	gr										
Reso del Agua	gr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reso del Suelo Seco	gr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contenido de Humedad	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad Promedio	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DENSIDAD MÁXIMA = 0.000 T/m³ HUMEDAD ÓPTIMA = 0.00%



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Bethebe Judith Roxas Chuquiaguana
 INGENIERA CIVIL
 VERIFICADOR COMARIN
 IV N° 015116VCC12A



Universidad Cesar Vallejo
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE CAPACIDAD RESISTENTE (CBR)

PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RIGIDO INCORPORANDO LAPLACETAS DE BETERRAGA AZULADA - VIA A AGUA BUENA - WILLKARAY, CUSCO
UBICACIÓN: AGUA BUENA - WILLKARAY - SAN SEBASTIAN - CUSCO
PROFUNDIDAD: 1.50 m
SOLICITA: BACH. JOSE ALFREDO MONZON CONDOR
MUESTRA: CALGATA C-X
FECHA: CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2022
COORDINACIÓN: S+NE

DATOS GENERALES

Maxima Densidad Seca (Kg/m ³)		Peso del martillo	Clasificación de Suelos SUCS: AASHTO
Humedad Optima		Altura del martillo	
Humedad Natural		Número de Capas	

DATOS DE COMPACTACION

	MOLDE: 1 56 GOLPES	MOLDE: 2 25 GOLPES	MOLDE: 3 12 GOLPES
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)			
Peso del Molde (gr)			
Peso de la Muestra Compacta (gr)	0	0	0
Densidad Humeda (gr/cm ³)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Densidad Seca (gr/cm ³)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

DATOS DEL MOLDE (cm)

Altura
Diam.
Volum.

DATOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD

	3		5		11		44	
Peso del Tarro (gr)								
Peso del Tarro + Suelo Humedo (gr)								
Peso del Tarro + Suelo Seco (gr)								
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Suelo Seco (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Contenido de Humedad Promedio	0.00%		0.00%		0.00%		0.00%	

DATOS DE ABSORCION

	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Peso M.H.M.C. des pues de Inmersión (gr)			
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)	0	0	0
Porcentaje de Absorción	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

ENSAYO DE EXPANSION

CTE. DIAL EXPANSION			MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
FECHA	HORA	TIEMPO TRANSC.	DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.
		00 horas	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
		24 horas	5	0.000	#DIV/0!	8	0.000	#DIV/0!	12	0.000	#DIV/0!
		48 horas	9	0.000	#DIV/0!	15	0.000	#DIV/0!	22	0.000	#DIV/0!
		72 horas	12	0.000	#DIV/0!	20	0.000	#DIV/0!	29	0.000	#DIV/0!
		96 horas	18	0.000	#DIV/0!	29	0.000	#DIV/0!			

ENSAYO DE PENETRACION

CTE. ANILLO= 4.500215119-DIAL-24.68140269			MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
AREA PISTON 30 Pulg Cuadradas			56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
TIEMPO	PENETRACION		DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI	DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI	DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI
	(mm)	(pulg)									
0.5 min	0.64	0.025	80	392	131	50	254	85	20	116	39
1.0 min	1.27	0.050	145	690	230	90	438	148	35	185	62
1.5 min	1.91	0.075	215	1011	337	140	667	222	70	348	115
2.0 min	2.54	0.100	270	1284	421	200	942	314	100	484	161
4.0 min	5.08	0.200	340	1565	528	245	1149	383	130	621	207
6.0 min	7.62	0.300	400	1990	620	300	1401	487	170	805	268
8.0 min	10.16	0.400	470	2181	727	350	1691	544	200	942	314
10.0 min	12.70	0.500	545	2525	842	395	1837	612	240	1128	375



ING. INOCENCIO RUFFINO ANASTASIO CHOQUEPUM
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 200638
 REGISTRADO EN EL REGISTRO NACIONAL DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS
 N° 014316VZ78X



Universidad Cesar Vallejo
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE CAPACIDAD RESISTENTE (CBR)

PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RIGIDO INCORPORANDO NAP. AQUETAS DE BETERRAGA
UBICACIÓN: AGUA BUENA - WILKARRAY - SAN SEBASTIAN - CUSCO
PROFUNDIDAD: 150 m
AZUARADA - VIA A AGUA BUENA - WILKARRAY, CUSCO
MUESTRA: CALICATA C-X
SOLICITA: BA. OJ. JOSE ALFREDO MONZON CONDOR
DISTRIBUCIÓN: S+NB
FECHA: CUSCO, NOVIEMBRE DEL 2002

DATOS GENERALES

Maxima Densidad Seca (Kg/m ³)		Peso del martillo	Clasificación de Suelos SUCS AASTHO:
Humedad Optima		Altura del martillo	
Humedad Natural		Número de Capas	

DATOS DE COMPACTACION	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
	56 GOLPES		25 GOLPES		12 GOLPES	
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)						
Peso del Molde (gr)						
Peso de la Muestra Compacta (gr)	0		0		0	
Densidad Humeda (gr/cm ³)	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	
Densidad Seca (gr/cm ³)	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	
DATOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
	9	6	5	54	11	44
Peso del Tarro (gr)						
Peso del Tarro + Suelo Humedo (gr)						
Peso del Tarro + Suelo Seco (gr)						
Peso del Agua (gr)						
Peso del Suelo Seco (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Contenido de Humedad Promedio	0.00%		0.00%		0.00%	
DATOS DE ABSORCION						
	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
Peso M.M.C. despues de Inmersión (gr)						
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)	0		0		0	
Porcentaje de Absorción	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	

DATOS DEL MOLDE (cm)

Altura	
Diam.	
Volum.	



ENSAYO DE EXPANSION			MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
CTE. DIAL EXPANSION			DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.	DIAL	PULG.	% EXP.
FECHA	HORA	TIEMPO TRANS.									
		00 horas	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%	0	0.000	0.00%
		24 horas	5	0.000	#DIV/0!	8	0.000	#DIV/0!	12	0.000	#DIV/0!
		48 horas	9	0.000	#DIV/0!	15	0.000	#DIV/0!	22	0.000	#DIV/0!
		72 horas	12	0.000	#DIV/0!	20	0.000	#DIV/0!	32	0.000	#DIV/0!
		96 horas	18	0.000	#DIV/0!	29	0.000	#DIV/0!	37	0.000	#DIV/0!

ENSAYO DE PENETRACION			MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
CTE. ANILLO: 43.00215 110" DIAL: 04.68140269			56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES		
AREA PISTON 3.0 Pulg. Cuadrados			DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI	DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI	DIAL	CARGA Lb	ESFUER. PSI
TIEMPO	PENETRACION										
	(mm)	(pulg)									
0.5 min	0.64	0.025	80	382	131	50	254	85	20	118	39
1.0 min	1.27	0.050	145	690	230	90	438	146	35	185	62
1.5 min	1.91	0.075	215	1011	337	140	667	222	70	348	115
2.0 min	2.54	0.100	270	1284	421	200	942	314	100	484	161
4.0 min	5.08	0.200	340	1585	528	245	1149	383	130	621	207
6.0 min	7.62	0.300	400	1980	620	300	1401	487	170	805	268
8.0 min	10.16	0.400	470	2181	727	350	1631	544	200	942	314
10.0 min	12.70	0.500	545	2825	842	385	1837	612	240	1128	375

Juan Carlos Salas Miranda
 INGENIERO CIVIL
 C.P. 30694

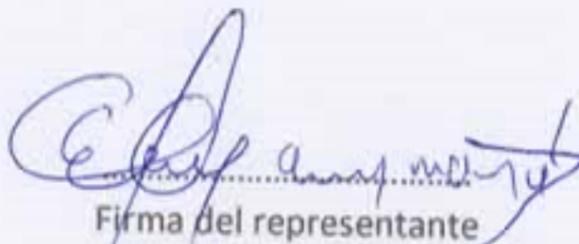
AUTORIZACION DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mediante el presente documento yo Eusebio tupa Huamani. En mi calidad de presidente de la APV.Vella Estrella Willkarpay, Autorizo la realización de los ensayos de laboratorio necesarios para poder desarrollar un trabajo de investigación titulado. "Estabilización de la base del pavimento rígido incorporando nanoplaquetas de beterraga azucarera - Vía Agua Buena – Willkarpay, Cusco, 2022. Para la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.

Esta autorización tendrá valides del **01 de junio del 2023** al **30 de julio del 2023**, para lo cual será necesario la realización de 3 calicatas dentro del trayecto de la vía.

Al culminar con los ensayos se dará conocimiento de los resultados a nuestra APV para conocimiento público.

Cusco, junio del 2023



Firma del representante

EUSEBIO TUPA HUAMANI

DNI: 23898382

CORPORACION INSUMEDIC S.A.CCAL. MIGUEL GRAU MZA. B LOE. 17 CASUARINAS DEL NARANJAL
(ALT CDRA 8 DE AV. TANTAMAYO)
LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES**FACTURA ELECTRONICA****RUC: 20392996401****E001-112**Fecha de Emisión : **20/05/2023**
Señor(es) : JOEL JESUS ANDIA SILVERA
RUC : 10706619556
Dirección del Cliente : AV LA CULTURA 1002 OF 306
Tipo de Moneda : **SOLES**
Observación :

Forma de pago: Contado

Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
1	UNIDAD	SINTETIZACIÓN DE NANOPLAQUETAS VEGETALES 8 KG	850.00	850.00

Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : S/ 0.00

SON: OCHOCIENTOS CINCUENTA Y 00/100 SOLES

Sub Total Ventas :	S/ 850.00
Anticipos :	S/ 0.00
Descuentos :	S/ 0.00
Valor Venta :	S/ 720.34
ISC :	S/ 0.00
IGV :	S/ 129.66
ICBPER :	S/ 0.00
Otros Cargos :	S/ 0.00
Otros Tributos :	S/ 0.00
Monto de redondeo :	S/ 0.00
Importe Total :	S/ 850.00

Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
 NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
 WILLKARPAY, CUSCO, 2022



LABORATORIO DE
 MECÁNICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

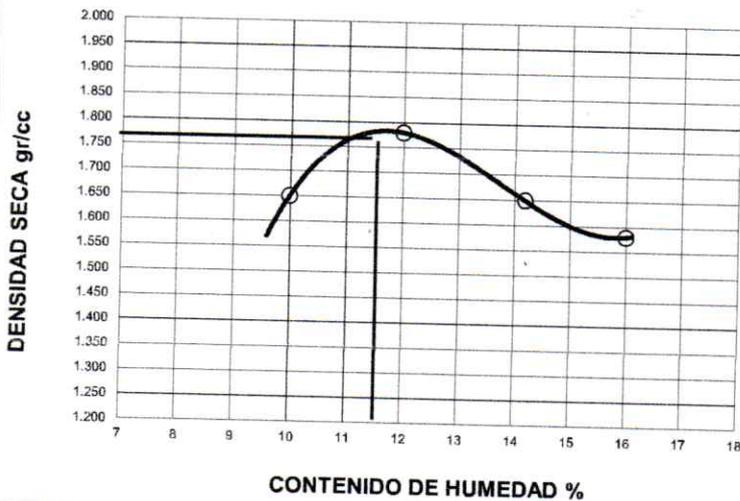
UBICACIÓN : CALICATA N° 01 DE 0.00 A 2.50 METROS

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	9855	10235	10000	9900	
PESO MOLDE	6032	6032	6032	6032	
PESO SUELO COMPACTADO	3823	4203	3968	3868	
VOLUMEN DEL MOLDE	2116	2116	2116	2116	
DENSIDAD HUMEDA	1.81	1.99	1.88	1.83	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	431.80	443.70	411.50	522.20	
SUELO SECO + RECIPIENTE	392.60	396.20	360.40	450.20	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	39.20	47.50	51.10	72.00	
PESO DE SUELO SECO	392.60	396.20	360.40	450.20	
CONTENIDO DE HUMEDAD	9.98	11.99	14.18	15.99	
DENSIDAD SECA	1.65	1.78	1.65	1.58	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.78 gr/cm³

Conten. humedad óptima
11.80 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 29603104022
 Ing. Brucele Ramiro Amante Choquepuma
 CIP: 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CALICATA N° 01 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

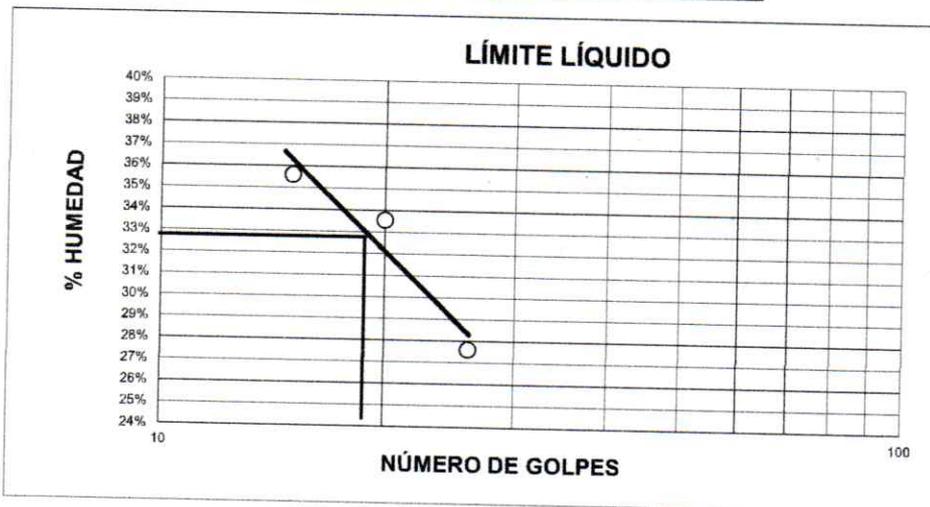
LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	22.96 g	20.58 g	20.68 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	19.05 g	16.65 g	17.95 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.07 g	4.94 g	8.06 g
PESO AGUA	3.91 g	3.93 g	2.73 g
PESO SUELO SECO	10.98 g	11.71 g	9.89 g
% HUMEDAD	35.61%	33.56%	27.60%
LL = 32.26%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	24.75 g	23.34 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	23.97 g	22.60 g
PESO DEL RECIPIENTE	20.18 g	19.24 g
PESO AGUA	0.78 g	0.74 g
PESO SUELO SECO	3.79 g	3.36 g
% HUMEDAD	20.58%	22.02%
LP = 21.30%		

RESULTADOS	
LL =	32.26%
LP =	21.30%
IP =	10.96%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC 20603104022

Ing. Brucele Rumiyoq Anahue Choquepuma
C.I.F. 2060338
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZÚCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
 LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
 UBICACIÓN : CALICATA N° 01 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE
 MECÁNICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
 (ASTM D-1883)

Molde N°	1		2		3	
	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG		SIN SUMERGIR	
Peso molde + suelo húmedo gr.	13221		12895		12325	
Peso del molde gr.	8450		8742		8432	
Peso del suelo húmedo gr.	4771		4153		3893	
Volúmen del molde cc.	2368		2270		2250	
Densidad Humeda gr./cc	1.99		1.83		1.73	
Humedad %	11.80		11.80		11.80	
Densidad seca gr./cc	1.780		1.640		1.550	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	241.84		514.50		444.80	
Tarro suelo seco gr.	216.40		460.20		397.80	
Agua gr.	25.54		54.30		47.00	
Peso del Tarro gr.	0.00		0.00		0.00	
Peso del suelo seco gr.	216.40		460.20		397.80	
Humedad %	11.80		11.80		11.80	
Promedio de la humedad %						

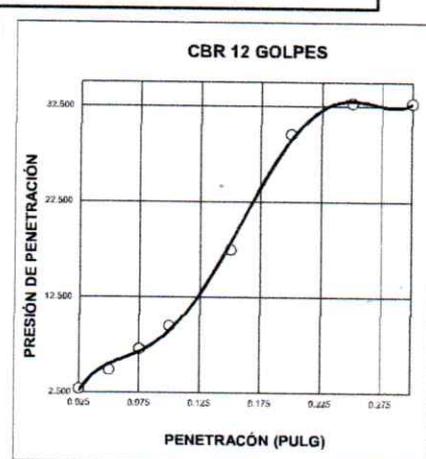
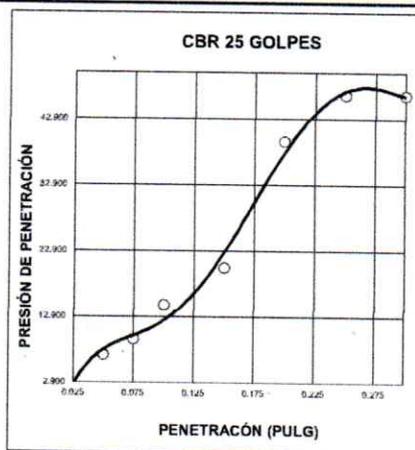
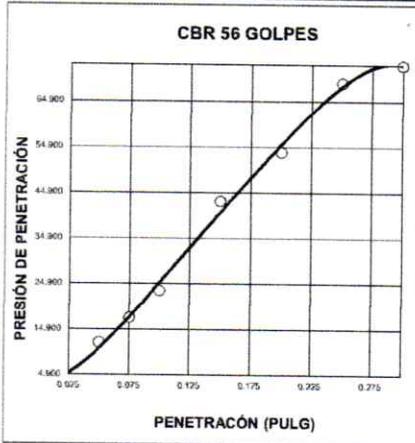
ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
18-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	1.00	0.010	0.25%	2.20	0.022	0.006	3.00	0.030	0.008
18-05-23	10:15	48	2.00	0.020	0.50%	3.00	0.030	0.008	5.00	0.050	0.013
19-05-23	10:15	72	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	6.00	0.060	0.015

PENETRACION

CTE = 9.6168 * DIAL + 20.366

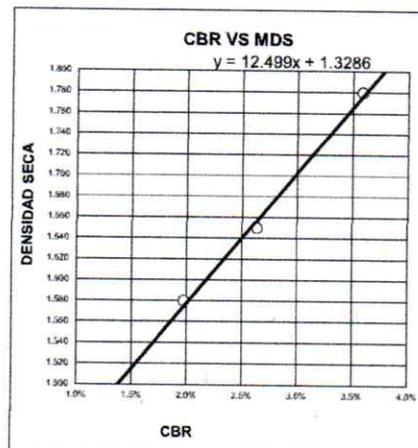
Tiempo	mm	plg	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %
0.000	0.000	0.000												
0.500	0.640	0.025	3	14.7	4.9		2	8.7	2.9		2	8.7	2.9	
1.000	1.270	0.050	6	36.1	12.0		4	21.3	7.1		3	14.7	4.9	
1.500	1.910	0.075	8	52.4	17.5		5	28.5	9.5		4	21.3	7.1	
2.000	2.540	0.100	10	70.1	23.4	2.34%	7	44.1	14.7	1.47%	5	28.5	9.5	0.95%
4.000	5.080	0.150	16	129.0	43.0		9	61.1	20.4		8	52.4	17.5	
6.000	7.620	0.200	19	161.3	53.8	3.59%	15	118.7	39.6	2.64%	12	88.8	29.6	1.97%
8.000	10.160	0.250	23	206.8	68.9		17	139.6	46.5		13	98.5	32.8	
10.000	12.700	0.300	24	218.5	72.8		17	139.6	46.5		13	98.5	32.8	



Golpes	CBR	DS
56	3.6%	1.78
25	2.6%	1.65
12	2.0%	1.58

MDS	1.78
95% MDS	1.69

CBR al 100% MDS	3.6%
CBR al 95% MDS	2.9%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 20603104022
 Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
 C.D. 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
UBICACIÓN : CALICATA N° 01 DE 0.00 A 2.50 METROS

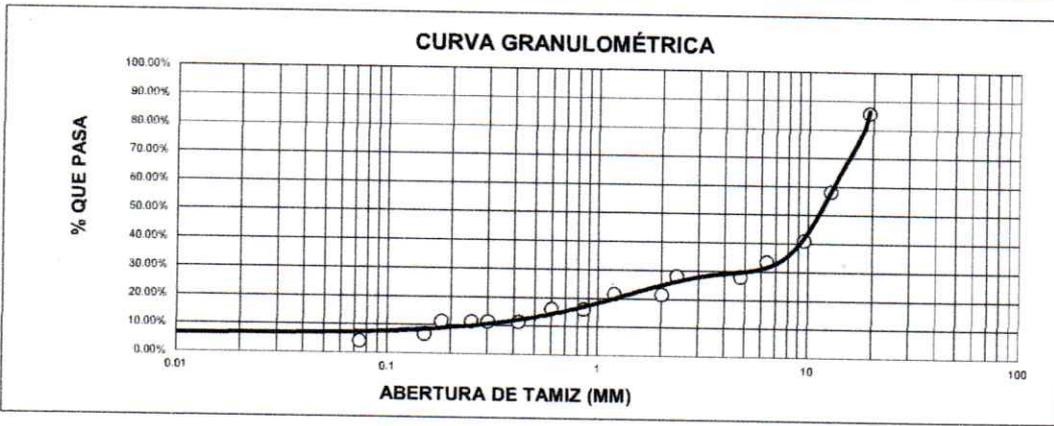


**LABORATORIO DE
 MECÁNICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO				MATERIAL PASANTE (%)
PULGADA	MM	PESO RETENIDO (G)	PESO RETENIDO REAL (G)	RETENCIÓN (%)	ACUMULADO (%)	
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05	712.40 g	712.40 g	14.2%	14.2%	100.0%
1/2"	12.70	1377.05 g	1377.05 g	27.5%	41.8%	85.8%
3/8"	9.53	858.10 g	858.10 g	17.2%	59.0%	58.2%
1/4"	6.35	381.20 g	381.20 g	7.6%	66.6%	41.0%
N°4	4.75	263.20 g	267.24 g	5.3%	71.9%	33.4%
N°8	2.36				71.9%	28.1%
N°10	2.00	322.00 g	326.94 g	6.5%	78.5%	21.5%
N°16	1.19				78.5%	21.5%
N°20	0.85	268.40 g	272.52 g	5.5%	83.9%	16.1%
N°30	0.60				83.9%	16.1%
N°40	0.42	231.50 g	235.05 g	4.7%	88.6%	11.4%
N°50	0.30				88.6%	11.4%
N°60	0.25				88.6%	11.4%
N°80	0.18				88.6%	11.4%
N°100	0.15	224.40 g	227.84 g	4.6%	93.2%	6.8%
N°200	0.07	131.20 g	133.21 g	2.7%	95.8%	4.2%
BANDEJA		205.30 g	208.45 g	4.2%	100.0%	0.0%

DESCRIPCIÓN	
% de Humedad:	9.10%
% de Grava:	71.92%
% de Arena:	28.08%
Tamaño Máximo:	
% Pasa N°200:	4.2%
Peso Inicial:	5000.00
Color:	Café oscuro
LL:	32.26%
LP:	21.30%
IP:	10.96%
SUCS	GP
AASHTO	A-2-5




HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 R.O.C. 20603104822
 Ing. Brucele Ramiro Amante Choquepuma
 C.P. 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
UBICACIÓN : CALICATA N° 02 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE
 MECÁNICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO				MATERIAL PASANTE (%)
DIAMETRO		PESO RETENIDO (G)	PESO RETENIDO REAL (G)	RETENCIÓN (%)	ACUMULADO (%)	
PULGADA	MM					
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05	814.70 g	814.70 g	16.3%	16.3%	100.0%
1/2"	12.70	1274.75 g	1274.75 g	25.5%	41.8%	83.7%
3/8"	9.53	755.80 g	755.80 g	15.1%	56.9%	58.2%
1/4"	6.35	483.50 g	483.50 g	9.7%	66.6%	43.1%
N°4	4.75	365.50 g	384.88 g	7.7%	74.3%	33.4%
N°8	2.36				74.3%	25.7%
N°10	2.00	424.30 g	446.80 g	8.9%	83.2%	16.8%
N°16	1.19				83.2%	16.8%
N°20	0.85	215.70 g	227.14 g	4.5%	87.8%	12.2%
N°30	0.60				87.8%	12.2%
N°40	0.42	178.80 g	188.28 g	3.8%	91.5%	8.5%
N°50	0.30				91.5%	8.5%
N°60	0.25				91.5%	8.5%
N°80	0.18				91.5%	8.5%
N°100	0.15	171.70 g	180.80 g	3.6%	95.1%	4.9%
N°200	0.07	78.50 g	82.66 g	1.7%	96.8%	3.2%
BANDEJA		152.60 g	160.69 g	3.2%	100.0%	0.0%

DESCRIPCIÓN	
% de Humedad:	9.10%
% de Grava:	74.27%
% de Arena:	25.73%
Tamaño Máximo:	
% Pasa N°200:	3.2%
Peso Inicial:	5000.00
Color:	Café oscuro
LL:	45.20%
LP:	30.25%
IP:	14.95%
SUCS	GP
AASHTO	A-2-5

CURVA GRANULOMÉTRICA




HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 20603104022
 Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
 CIP: 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
 NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
 WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CALICATA N° 02 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE
 MECÁNICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

LIMITES DE CONSISTENCIA

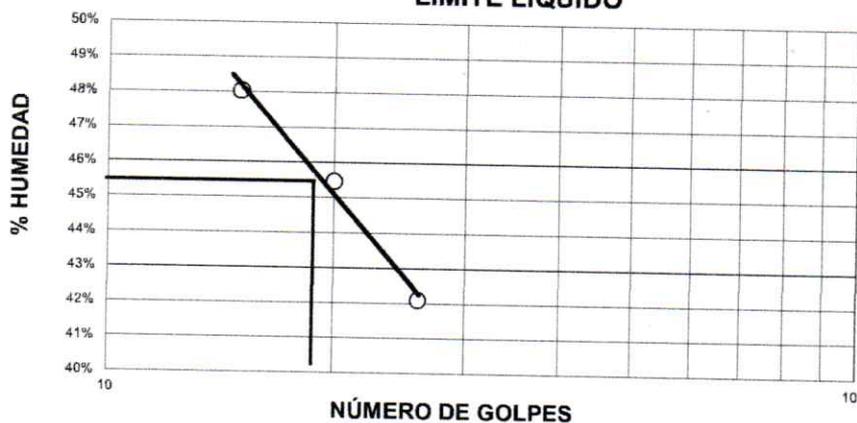
LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	20.18 g	22.87 g	20.39 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	18.10 g	19.51 g	16.74 g
PESO DEL RECIPIENTE	13.77 g	12.12 g	8.07 g
PESO AGUA	2.08 g	3.36 g	3.65 g
PESO SUELO SECO	4.33 g	7.39 g	8.67 g
% HUMEDAD	48.04%	45.47%	42.10%
LL = 45.20%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	21.66 g	19.87 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	18.60 g	17.10 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	3.06 g	2.77 g
PESO SUELO SECO	10.44 g	8.88 g
% HUMEDAD	29.31%	31.19%
LP = 30.25%		

RESULTADOS
LL = 45.20%
LP = 30.25%
IP = 14.95%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad

LÍMITE LÍQUIDO



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 20403104022

Ing. Brucele Ramírez Andino Choquepuma
 CIP. 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY,
CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CALICATA N° 02 DE 0.00 A 2.50 METROS



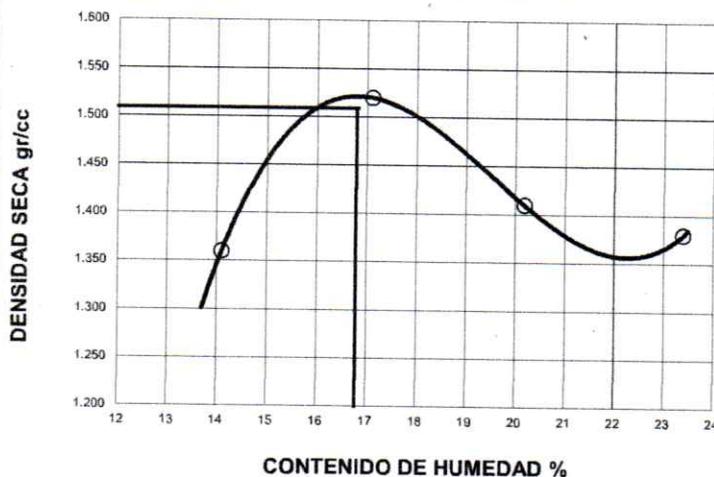
LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	9326	9802	9644	9639	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	3278	3754	3596	3591	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	1.55	1.78	1.70	1.70	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	504.30	538.90	490.00	469.50	
SUELO SECO + RECIPIENTE	442.00	460.20	407.70	380.50	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	62.30	78.70	82.30	89.00	
PESO DE SUELO SECO	442.00	460.20	407.70	380.50	
CONTENIDO DE HUMEDAD	14.10	17.10	20.19	23.39	
DENSIDAD SECA	1.36	1.52	1.41	1.38	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.52 gr/cm³

Conten. humedad óptima
17.00 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20605104022
Ing. Brucele Ramiro Andue Choquepuma
C.P. 20883
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
UBICACIÓN : CALICATA N° 02 DE 0.00 A 2.50 METROS



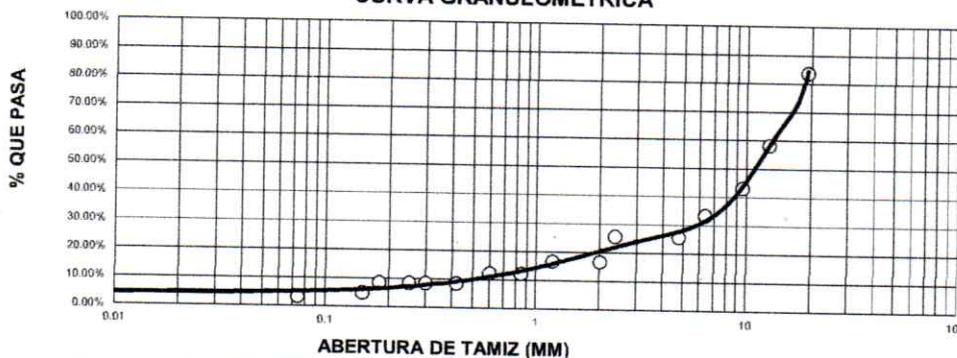
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES HATUN RUMIYOQ S.A.C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO				MATERIAL PASANTE (%)
PULGADA	MM	PESO RETENIDO (G)	PESO RETENIDO REAL (G)	RETENCIÓN (%)	ACUMULADO (%)	
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05	814.70 g	814.70 g	16.3%	16.3%	100.0%
1/2"	12.70	1274.75 g	1274.75 g	25.5%	41.8%	83.7%
3/8"	9.53	755.80 g	755.80 g	15.1%	56.9%	58.2%
1/4"	6.35	483.50 g	483.50 g	9.7%	66.6%	43.1%
N°4	4.75	365.50 g	384.88 g	7.7%	74.3%	33.4%
N°8	2.36				74.3%	25.7%
N°10	2.00	424.30 g	446.80 g	8.9%	83.2%	16.8%
N°16	1.19				83.2%	16.8%
N°20	0.85	215.70 g	227.14 g	4.5%	87.8%	12.2%
N°30	0.60				87.8%	12.2%
N°40	0.42	178.80 g	188.28 g	3.8%	91.5%	8.5%
N°50	0.30				91.5%	8.5%
N°60	0.25				91.5%	8.5%
N°80	0.18				91.5%	8.5%
N°100	0.15	171.70 g	180.80 g	3.6%	95.1%	4.9%
N°200	0.07	78.50 g	82.66 g	1.7%	96.8%	3.2%
BANDEJA		152.60 g	160.69 g	3.2%	100.0%	0.0%

DESCRIPCIÓN	
% de Humedad:	9.10%
% de Grava:	74.27%
% de Arena:	25.73%
Tamaño Máximo:	
% Pasa N°200:	3.2%
Peso Inicial:	5000.00
Color:	Café oscuro
LL:	45.20%
LP:	30.25%
IP:	14.95%
SUCS:	GP
AASHTO:	A-2-5

CURVA GRANULOMÉTRICA




HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC 20605104322
 Ing. Brucele Rumiyoq Amante Choquepuma
 C.P. 205638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO :

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA -
VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

SOLICITA :

JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR :

DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN :

CALICATA N° 02 DE 0.00 A 2.50 METROS

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

Molde N°	1		2		3	
	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12715	12586	12000		
Peso del molde	gr.	8944	9005	8912		
Peso del suelo húmedo	gr.	3771	3581			
Volumen del molde	cc.	2121	2116	3088		
Densidad Humeda	gr/cc	1.78	1.68	2123		
Humedad	%	17.00	17.00	1.45		
Densidad seca	gr/cc	1.520	1.440	17.00		
				1.240		
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	429.10	492.00	599.40		
Tarro suelo seco	gr.	366.80	420.50	512.30		
Agua	gr.	62.30	71.50	87.10		
Peso del Tarro	gr.	0.00	0.00	0.00		
Peso del suelo seco	gr.	366.80	420.50	512.30		
Humedad	%	17.00	17.00	17.00		
Promedio de la humedad	%					

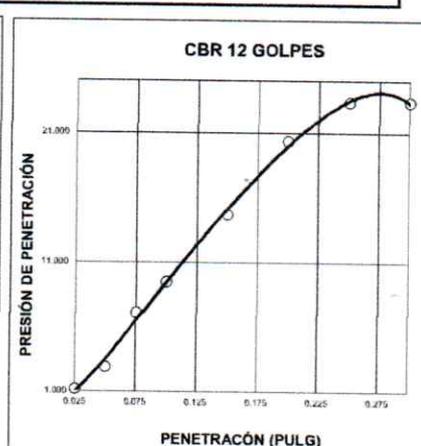
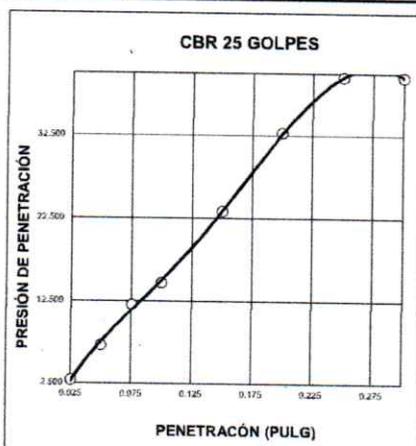
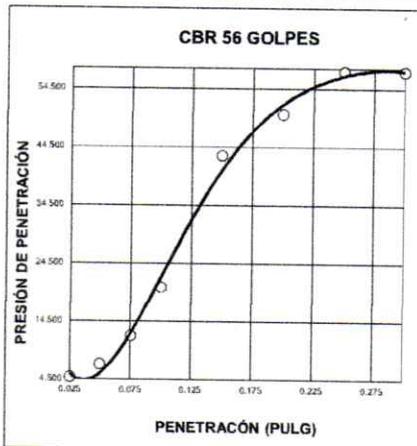
ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	1.00	0.010	0.25%	2.00	0.020	0.005	3.00	0.030	0.008
18-05-23	10:15	48	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	4.00	0.040	0.010
19-05-23	10:15	72	4.00	0.040	1.00%	5.00	0.050	0.013	6.00	0.060	0.015

PENETRACION

CTE = 9.6158 * DIAL + 20.366

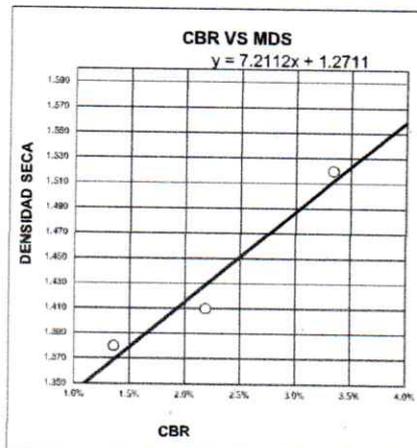
Tiempo	mm	plg	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %
0.000	0.000	0.000												
0.500	0.640	0.025	3	14.7	4.9		2	8.7	2.9		1	3.5	1.2	
1.000	1.270	0.050	4	21.3	7.1		4	21.3	7.1		2	8.7	2.9	
1.500	1.910	0.075	6	36.1	12.0		6	36.1	12.0		4	21.3	7.1	
2.000	2.540	0.100	9	61.1	20.4	2.04%	7	44.1	14.7	1.47%	5	28.5	9.5	0.95%
4.000	5.080	0.150	16	129.0	43.0		10	70.1	23.4		7	44.1	14.7	
6.000	7.620	0.200	18	150.4	50.1	3.34%	13	98.5	32.8	2.19%	9	61.1	20.4	1.36%
8.000	10.160	0.250	20	172.4	57.5		15	118.7	39.6		10	70.1	23.4	
10.000	12.700	0.300	20	172.4	57.5		15	118.7	39.6		10	70.1	23.4	



Golpes	CBR	DS
56	3.3%	1.52
25	2.2%	1.41
12	1.4%	1.38

MDS	1.52
95% MDS	1.44

CBR al 100% MDS	3.3%
CBR al 95% MDS	2.4%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Ramírez Amahu Choquepuma
CIP: 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
UBICACIÓN : CALICATA N° 03 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES HATUN RUMIYOC S.A.C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO				MATERIAL PASANTE (%)
DIAMETRO		PESO RETENIDO (G)	PESO RETENIDO REAL (G)	RETENCIÓN (%)	ACUMULADO (%)	
PULGADA	MM					
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05	907.90 g	907.90 g	18.2%	18.2%	100.0%
1/2"	12.70	1071.55 g	1071.55 g	21.4%	39.6%	81.8%
3/8"	9.53	826.20 g	826.20 g	16.5%	56.1%	60.4%
1/4"	6.35	263.30 g	263.30 g	5.3%	61.4%	43.9%
N°4	4.75	625.50 g	630.97 g	12.6%	74.0%	38.6%
N°8	2.36				74.0%	26.0%
N°10	2.00	224.30 g	226.26 g	4.5%	78.5%	21.5%
N°16	1.19				78.5%	21.5%
N°20	0.85	415.70 g	419.34 g	8.4%	86.9%	13.1%
N°30	0.60				86.9%	13.1%
N°40	0.42	155.80 g	157.16 g	3.1%	90.1%	9.9%
N°50	0.30				90.1%	9.9%
N°60	0.25				90.1%	9.9%
N°80	0.18				90.1%	9.9%
N°100	0.15	191.70 g	193.38 g	3.9%	93.9%	6.1%
N°200	0.07	108.50 g	109.45 g	2.2%	96.1%	3.9%
BANDEJA		192.80 g	194.49 g	3.9%	100.0%	0.0%

DESCRIPCIÓN	
% de Humedad:	9.10%
% de Grava:	74.00%
% de Arena:	26.00%
Tamaño Máximo:	
% Pasa N°200:	3.9%
Peso Inicial:	5000.00
Color:	Café
LL:	32.26%
LP:	21.30%
IP:	10.96%
SUCS	GM
AASHTO	A-2-5

CURVA GRANULOMÉTRICA




HATUN RUMIYOC S.A.C.
 R.O.C. 43603104022
 Ing. Brucele Ramiro Andue Choquepuma
 CIP. 208638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CALICATA N° 03 DE 0.00 A 2.50 METROS



LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

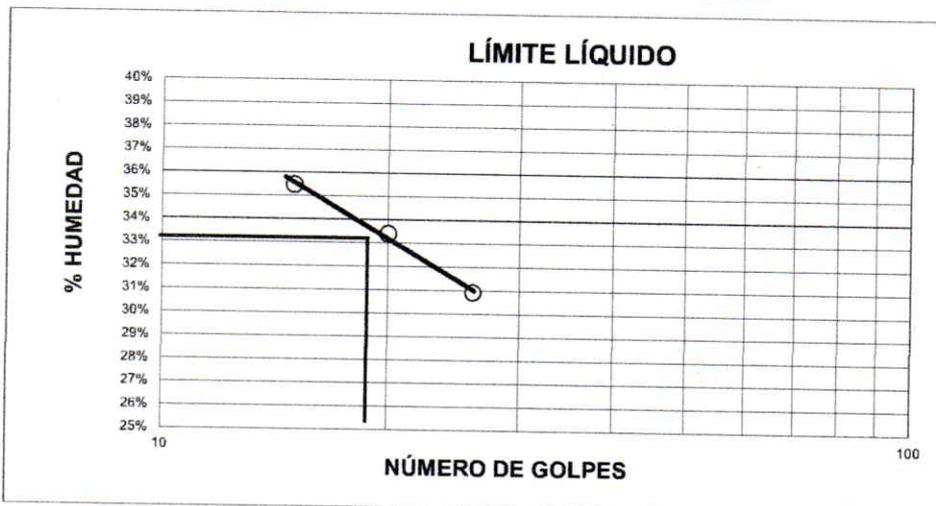
LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	23.16 g	23.32 g	21.50 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	20.40 g	20.50 g	19.32 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	2.76 g	2.82 g	2.18 g
PESO SUELO SECO	7.78 g	8.44 g	7.05 g
% HUMEDAD	35.48%	33.41%	30.92%
LL = 33.27%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	19.36 g	20.01 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	17.48 g	18.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	1.88 g	2.01 g
PESO SUELO SECO	9.32 g	9.78 g
% HUMEDAD	20.17%	20.55%
LP = 20.36%		

RESULTADOS	
LL =	33.27%
LP =	20.36%
IP =	12.91%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022

Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CALICATA N° 03 DE 0.00 A 2.50 METROS



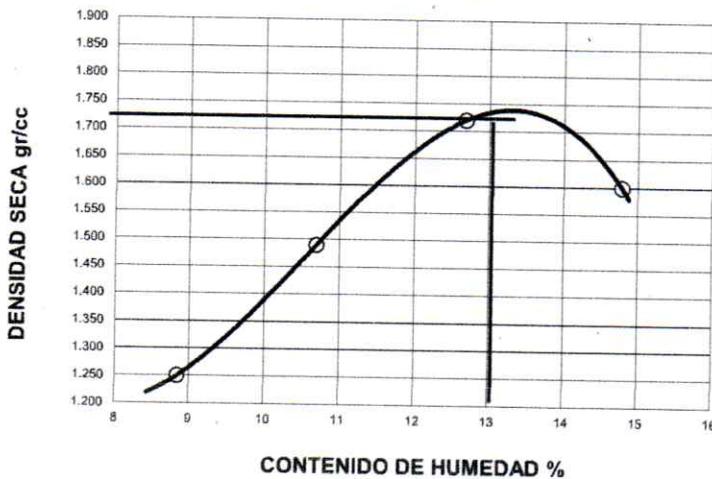
LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	8900	9500	10118	9900	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	2852	3452	4070	3852	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	1.35	1.64	1.93	1.83	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	1.25	1.49	1.72	1.60	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
1.74 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.00 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Ramiro Anahí Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO :

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA -
VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

SOLICITA :

JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR :

DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN :

CALICATA N° 03 DE 0.00 A 2.50 METROS

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

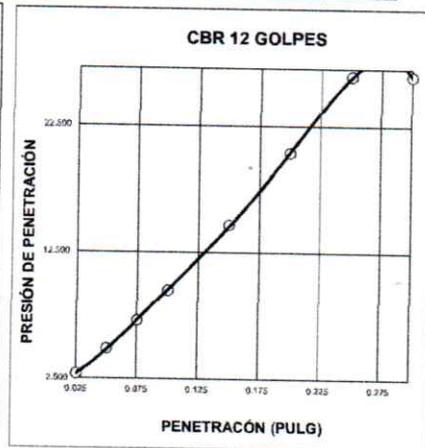
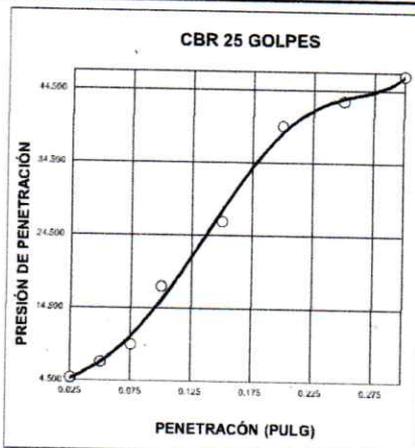
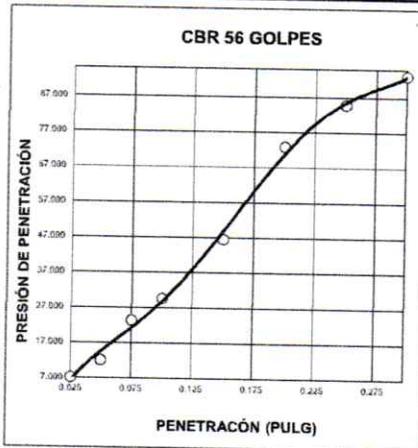
	1		2		3	
	56	25	25	12	5	12
Molde N°						
Capa N°						
Golpes por capa N°						
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	12756		12380		11250	
Peso del molde gr.	8227		8242		7852	
Peso del suelo húmedo gr.	4529		4138		3398	
Volumen del molde cc.	2307		2307		2191	
Densidad Humeda gr./cc.	1.96		1.79		1.55	
Humedad %	12.80		12.80		12.80	
Densidad seca gr./cc.	1.740		1.590		1.370	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	468.00		400.00		300.00	
Tarro suelo seco gr.	414.80		354.80		265.90	
Agua gr.	53.20		45.40		34.10	
Peso del Tarro gr.	0.00		0.00		0.00	
Peso del suelo seco gr.	414.80		354.80		265.90	
Humedad %	12.80		12.80		12.80	
Promedio de la humedad %						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

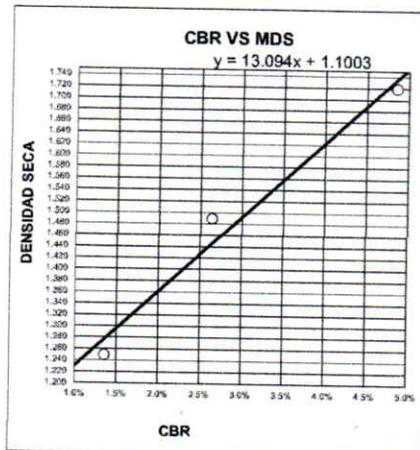
CTE = 9.6168 * DIAL + 20.386			Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	
Tiempo	mm	plg													
0.000	0.000	0.000													
0.500	0.640	0.025	4	21.3	7.1		3	14.7	4.9		2	8.7	2.9		
1.000	1.270	0.050	6	36.1	12.0		4	21.3	7.1		3	14.7	4.9		
1.500	1.910	0.075	10	70.1	23.4		5	28.5	9.5		4	21.3	7.1		
2.000	2.540	0.100	12	88.8	29.6	2.96%	8	52.4	17.5	1.75%	5	28.5	9.5	0.95%	
4.000	5.080	0.200	17	139.6	48.5	4.85%	11	79.3	26.4		7	44.1	14.7		
6.000	7.620	0.300	24	218.5	72.8	4.86%	15	118.7	39.6	2.64%	9	61.1	20.4	1.35%	
8.000	10.160	0.400	27	254.7	84.9		16	129.0	43.0		11	79.3	26.4		
10.000	12.700	0.500	29	279.5	93.2		17	139.6	46.5		11	79.3	26.4		



Golpes	CBR	DS
56	4.9%	1.72
25	2.6%	1.49
12	1.4%	1.25

MDS	1.72
95% MDS	1.63

CBR al 100% MDS	4.9%
CBR al 95% MDS	4.1%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC 20603104922
Ing. Brucele Rambo Anahie Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022
SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 0% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES HATUN RUMIYOC S.A.C.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO				MATERIAL PASANTE (%)
PULGADA	MM	PESO RETENIDO (G)	PESO RETENIDO REAL (G)	RETENCIÓN (%)	ACUMULADO (%)	
4"	101.60					
3"	76.20					
2 1/2"	63.50					
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40					
3/4"	19.05	1370.50 g	1370.50 g	27.4%	27.4%	100.0%
1/2"	12.70	821.20 g	821.20 g	16.4%	43.8%	72.6%
3/8"	9.53	715.20 g	715.20 g	14.3%	58.1%	56.2%
1/4"	6.35	671.40 g	671.40 g	13.4%	71.6%	41.9%
N°4	4.75	531.60 g	572.15 g	11.4%	83.0%	28.4%
N°8	2.36				83.0%	17.0%
N°10	2.00	309.23 g	332.82 g	6.7%	89.7%	17.0%
N°16	1.19				89.7%	10.3%
N°20	0.85	227.80 g	245.18 g	4.9%	94.6%	10.3%
N°30	0.60				94.6%	5.4%
N°40	0.42	108.30 g	116.56 g	2.3%	96.9%	5.4%
N°50	0.30				96.9%	3.1%
N°60	0.25				96.9%	3.1%
N°80	0.18				96.9%	3.1%
N°100	0.15	72.10 g	77.60 g	1.6%	98.5%	3.1%
N°200	0.07	48.70 g	52.42 g	1.0%	99.5%	1.5%
BANDEJA		23.20 g	24.97 g	0.5%	100.0%	0.5%

DESCRIPCIÓN	
% de Humedad:	9.10%
% de Grava:	83.01%
% de Arena:	16.99%
Tamaño Máximo:	
% Pasa N°200:	0.5%
Peso Inicial:	5000.00
Color:	Café
LL:	36.33%
LP:	18.75%
IP:	17.58%
SUCS	GP
AASHTO	A-2-5

CURVA GRANULOMÉTRICA



HATUN RUMIYOC S.A.C.
 RUC: 29603104022
 Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
 CIP. 206618
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 0% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110

ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	23.26 g	23.42 g	21.60 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	20.30 g	20.40 g	19.22 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	2.96 g	3.02 g	2.38 g
PESO SUELO SECO	7.68 g	8.34 g	6.95 g
% HUMEDAD	38.54%	36.21%	34.24%

LL = 36.33%

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111

ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	19.06 g	20.01 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	17.48 g	18.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	1.58 g	2.01 g
PESO SUELO SECO	9.32 g	9.78 g
% HUMEDAD	16.95%	20.55%

LP = 18.75%

RESULTADOS

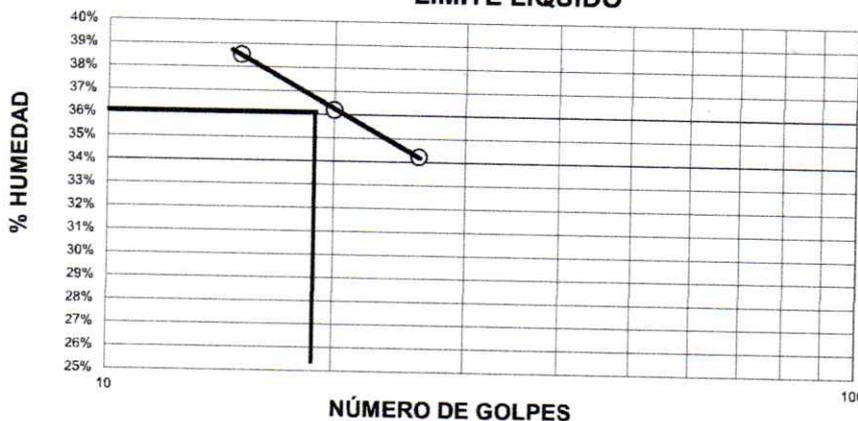
LL = 36.33%

LP = 18.75%

IP = 17.58%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad

LÍMITE LÍQUIDO



HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 20063104022

Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
C.I.P. 205638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 0% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



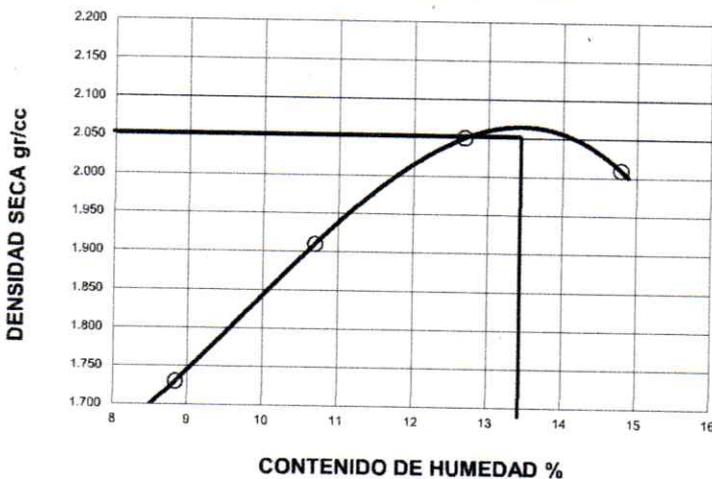
**LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.**

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10000	10500	10900	10900	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	3952	4452	4852	4852	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	1.87	2.11	2.30	2.30	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	1.73	1.91	2.05	2.01	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.06 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.50 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Rabiño Anahue Choquepuma
CIP. 208638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 0% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
(ASTM D-1883)

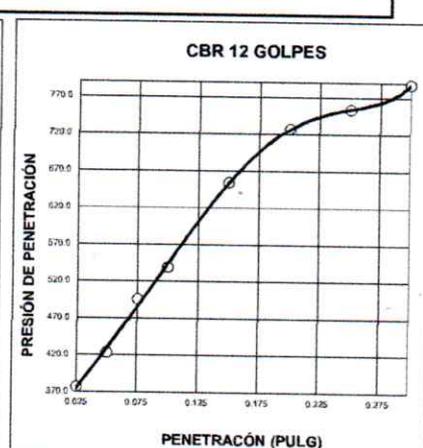
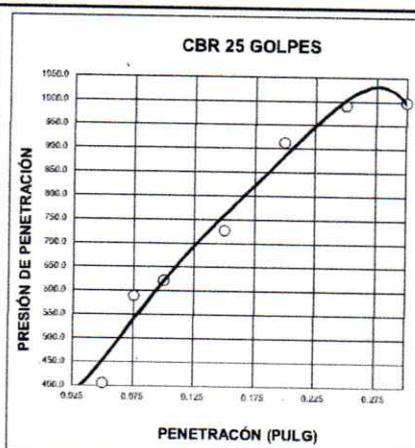
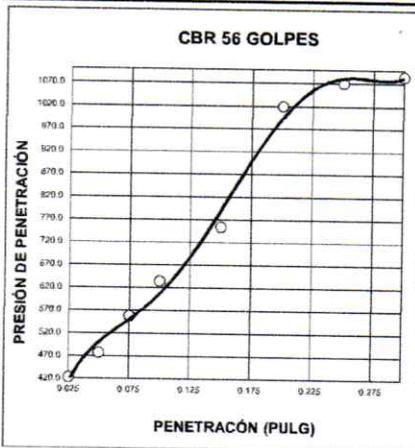
	1		2		3	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	1		2		3	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG.		SIN SUMERGIR	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12756	12380	11250		
Peso del molde	gr.	8227	8242	7852		
Peso del suelo húmedo	gr.	4529	4138	3398		
Volumen del molde	cc.	2307	2307	2191		
Densidad Humeda	gr/cc	1.96	1.79	1.55		
Humedad	%	12.80	12.80	12.80		
Densidad seca	gr/cc	1.740	1.590	1.370		
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	468.00	400.00	300.00		
Tarro suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90		
Agua	gr.	53.20	45.40	34.10		
Peso del Tarro	gr.	0.00	0.00	0.00		
Peso del suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90		
Humedad	%	12.80	12.80	12.80		
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

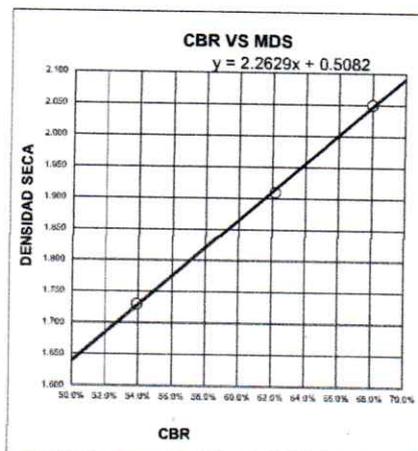
CTE = 9.6168*DIAL+20.366			Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	
Tiempo	mm	plg													
0.000	0.000	0.000													
0.500	0.640	0.025	93	1270.0	423.3		89	1199.5	399.8		85	1129.9	376.6		
1.000	1.270	0.050	102	1432.0	477.3		90	1217.1	405.7		93	1270.0	423.3		
1.500	1.910	0.075	115	1673.5	557.8		120	1768.6	589.5		105	1486.9	495.6		
2.000	2.540	0.100	127	1903.8	634.6	63.46%	125	1864.9	621.6	62.16%	112	1617.0	539.0	53.90%	
4.000	5.080	0.200	145	2261.6	753.9		141	2160.8	726.9		130	1962.4	654.1		
6.000	7.620	0.300	183	3060.1	1020.0	68.00%	168	2738.3	912.8	60.85%	141	2180.8	726.9	48.46%	
8.000	10.160	0.400	190	3213.0	1071.0		179	2973.5	991.2		145	2261.6	753.9		
10.000	12.700	0.500	192	3257.0	1085.7		180	2995.1	998.4		150	2363.4	787.8		



Golpes	CBR	DS
56	68.0%	2.05
25	62.2%	1.91
12	53.9%	1.73

MDS	2.05
95% MDS	1.95

CBR al 100% MDS	68.0%
CBR al 95% MDS	63.6%



HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 20503104022

Ing. Brucele Ramiro Andue Choquepuma
CIP: 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 5% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.

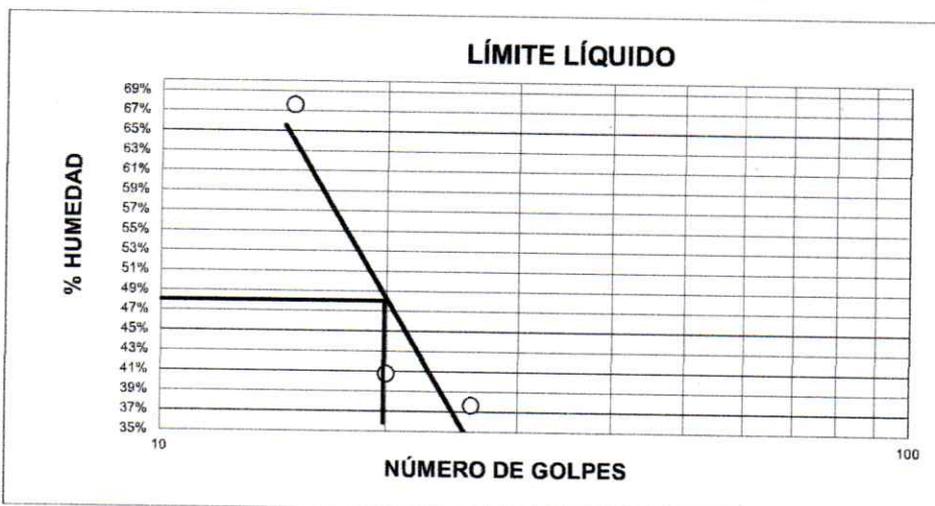
LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	25.16 g	23.52 g	21.70 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	20.10 g	20.20 g	19.12 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	5.06 g	3.32 g	2.58 g
PESO SUELO SECO	7.48 g	8.14 g	6.85 g
% HUMEDAD	67.65%	40.79%	37.66%
LL = 48.70%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	19.36 g	18.01 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	17.48 g	18.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	1.88 g	0.01 g
PESO SUELO SECO	9.32 g	9.78 g
% HUMEDAD	20.17%	0.10%
LP = 10.14%		

RESULTADOS
LL = 48.70%
LP = 10.14%
IP = 38.56%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad



HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 10603104022

Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
CIP: 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 5% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



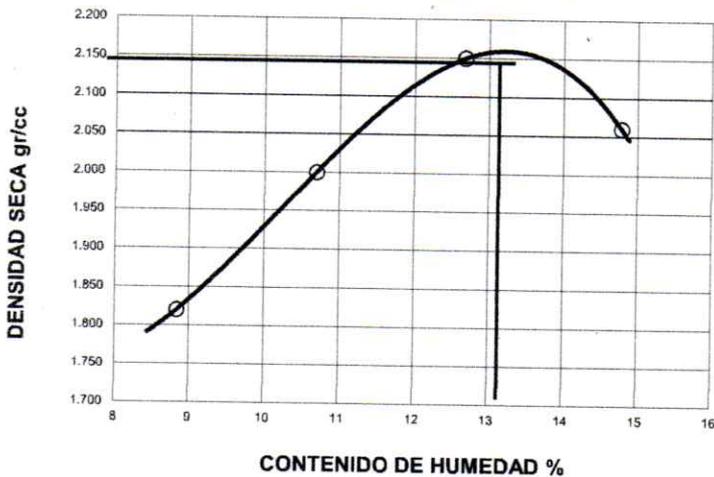
LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10200	10700	11130	11000	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	4152	4652	5082	4952	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	1.97	2.20	2.41	2.35	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	1.82	2.00	2.15	2.06	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.16 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.15 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO :

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA :

JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR :

DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN :

CANTERA Q'ENQO + 5% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

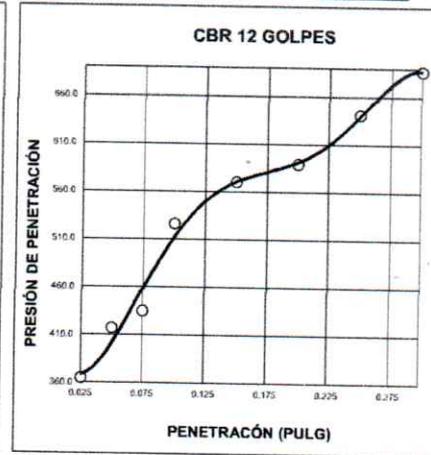
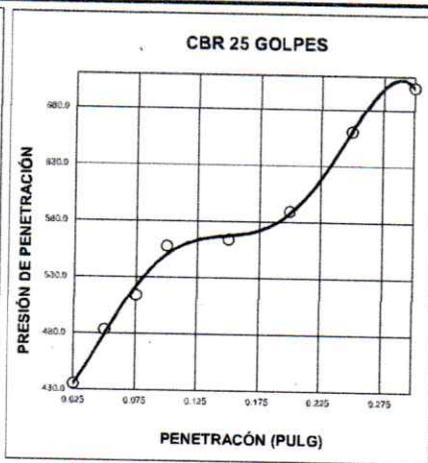
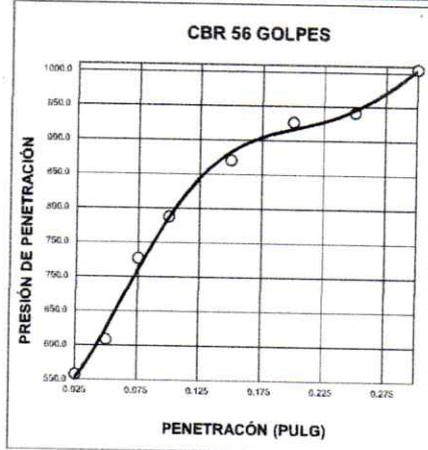
Moide N°	1		2		3	
	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG.		SIN SUMERGIR	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12756	12380	11250	11250	11250
Peso del molde	gr.	8227	8242	7852	7852	7852
Peso del suelo húmedo	gr.	4529	4138	3398	3398	3398
Volumen del molde	cc.	2307	2307	2191	2191	2191
Densidad Húmeda	gr./cc	1.96	1.79	1.55	1.55	1.55
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Densidad seca	gr./cc	1.740	1.590	1.370	1.370	1.370
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	468.00	400.00	300.00	300.00	300.00
Tarro suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90	265.90	265.90
Agua	gr.	53.20	45.40	34.10	34.10	34.10
Peso del Tarro	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90	265.90	265.90
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

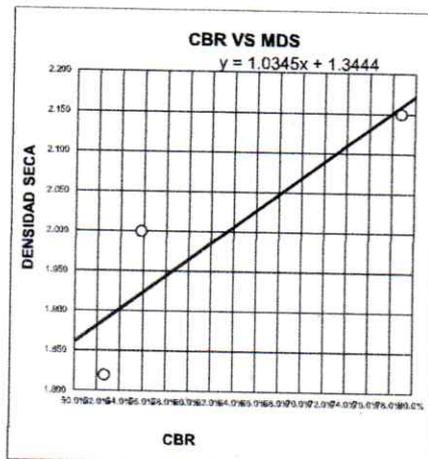
CTE = 9.6168 * DIAL + 20.366			Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	
Tiempo	mm	plg													
0.000	0.000	0.000													
0.500	0.640	0.025	115	1673.5	557.8		95	1305.6	435.2		83	1095.5	365.2		
1.000	1.270	0.050	123	1826.3	608.8		103	1450.2	483.4		92	1252.3	417.4		
1.500	1.910	0.075	141	2180.8	726.9		108	1542.3	514.1		95	1305.6	435.2		
2.000	2.540	0.100	150	2363.4	787.8	78.78%	115	1673.5	557.8	55.78%	110	1579.6	526.5	52.65%	
4.000	5.080	0.150	162	2611.9	870.6		116	1692.4	564.1		117	1711.4	570.5		
6.000	7.620	0.200	170	2780.7	926.9	81.79%	120	1768.6	589.5	39.30%	120	1768.6	589.5	39.30%	
8.000	10.160	0.250	172	2823.3	941.1		131	1982.1	660.7		128	1923.3	641.1		
10.000	12.700	0.300	181	3016.7	1005.6		137	2100.8	700.3		135	2061.0	687.0		



Golpes	CBR	DS
56	78.8%	2.15
25	55.8%	2.00
12	52.7%	1.82

MDS	DS
95% MDS	2.04

CBR al 190% MDS	78.8%
CBR al 95% MDS	67.5%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC 20603104022
Ing. Brucele Rumiyo Anahue Choquepuma
CIP. 205638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 10% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110

ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	24.16 g	24.32 g	22.50 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	19.40 g	19.50 g	19.32 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	4.76 g	4.82 g	3.18 g
PESO SUELO SECO	6.78 g	7.44 g	7.05 g
% HUMEDAD	70.21%	64.78%	45.11%

LL = 60.03%

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111

ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	18.36 g	19.01 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	17.48 g	19.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	0.88 g	0.01 g
PESO SUELO SECO	9.32 g	10.78 g
% HUMEDAD	9.44%	0.09%

LP = 4.77%

RESULTADOS

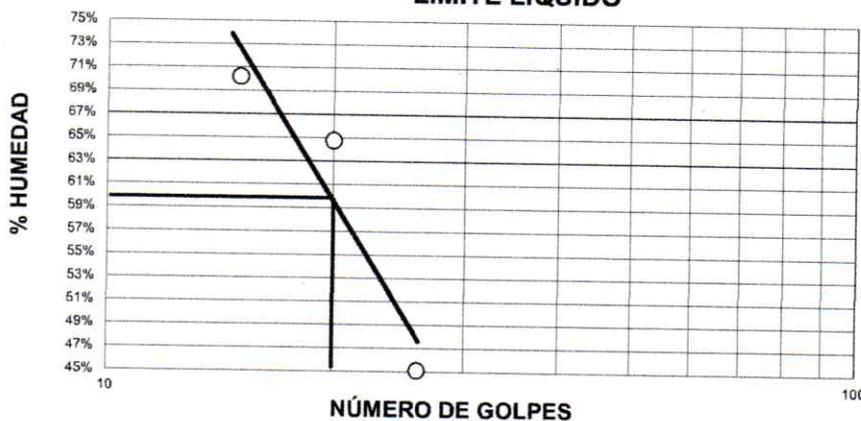
LL = 60.03%

LL = 4.77%

IP = 55.27%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad

LÍMITE LÍQUIDO



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022

Ing. Brucele Rumiyoq Anahue Choquepuma
CIP: 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 10% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



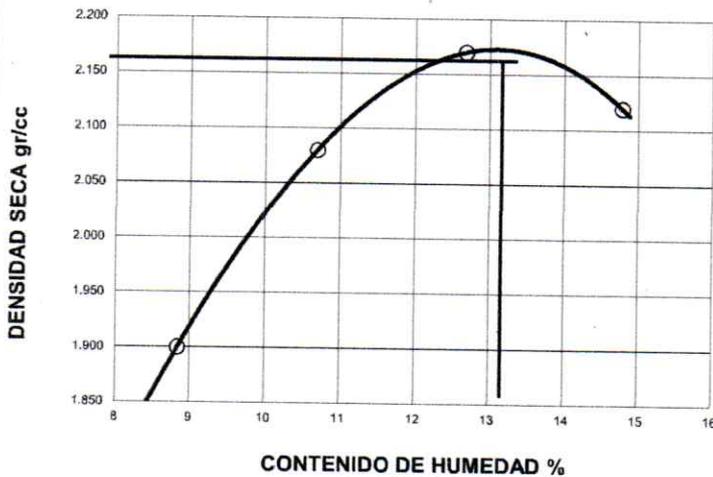
**LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOQ S.A.C.**

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10400	10880	11180	11160	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	4352	4832	5132	5112	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	2.06	2.29	2.43	2.42	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	1.90	2.08	2.17	2.12	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.18 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.10 %

HATUN RUMIYOQ S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Raimiro Anahué Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
 LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
 UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 10% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
 MECANICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)

(ASTM D-1883)

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capa N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG.		SIN SUMERGIR	
	SUMERG.		SIN SUMERGIR		SUMERG.	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12756	12380	11250	11250	
Peso del molde	gr.	8227	8242	8242	7852	
Peso del suelo húmedo	gr.	4529	4138	3398	2191	
Volumen del molde	cc.	2307	2307	2307	2307	
Densidad Humeda	gr./cc	1.96	1.79	1.46	0.95	
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	
Densidad seca	gr./cc	1.740	1.590	1.260	0.830	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	468.00	400.00	300.00	300.00	
Tarro suelo seco	gr.	414.80	354.80	265.90	265.90	
Agua	gr.	53.20	45.40	34.10	0.00	
Peso del Tarro	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso del suelo seco	gr.	414.80	354.80	265.90	265.90	
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	
Promedio de la humedad	%					

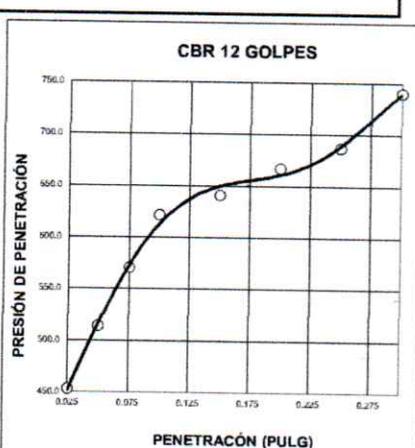
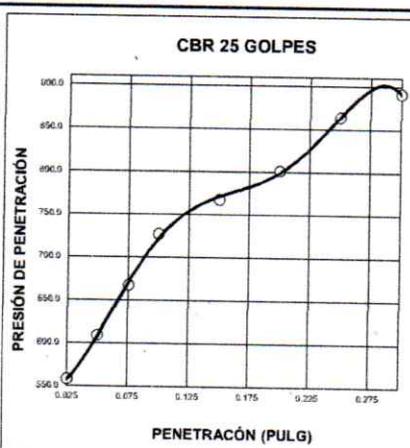
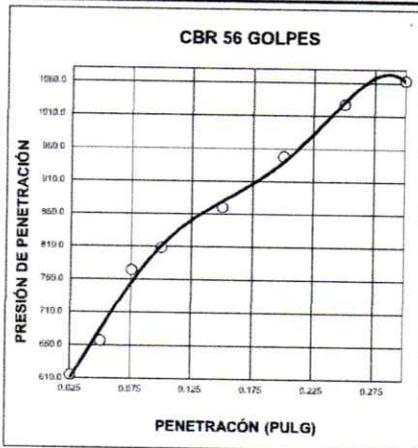
ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

CTE = 9.6168 * DIAL + 20.366

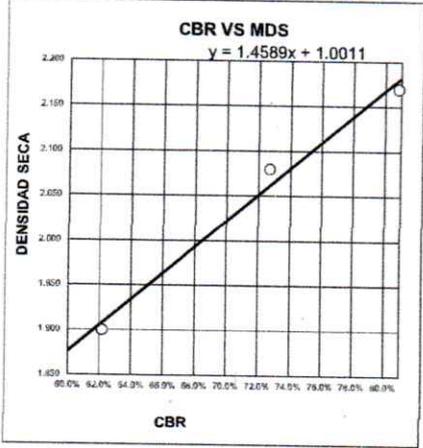
Tiempo	mm	plg	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %
0.000	0.000	0.000												
0.500	0.640	0.025	124	1845.6	615.2		115	1673.5	557.8		98	1359.4	453.1	
1.000	1.270	0.050	132	2001.7	667.2		123	1826.3	608.8		108	1542.3	514.1	
1.500	1.910	0.075	148	2322.5	774.2		132	2001.7	667.2		117	1711.4	570.5	
2.000	2.540	0.100	153	2425.0	808.3	80.83%	141	2180.8	726.9	72.68%	125	1864.9	621.6	62.16%
4.000	5.080	0.150	162	2611.9	870.6		147	2302.2	787.4		128	1923.3	641.1	
6.000	7.620	0.200	173	2844.6	948.2	63.21%	152	2404.4	801.5	53.43%	132	2001.7	667.2	44.48%
8.000	10.160	0.250	184	3081.8	1027.3		161	2591.0	863.7		135	2061.0	687.0	
10.000	12.700	0.300	189	3191.1	1063.7		165	2674.9	891.6		143	2221.1	740.4	



Golpes	CBR	DS
56	80.8%	2.17
25	72.7%	2.08
12	62.2%	1.90

MDS	
95% MDS	2.17
	2.06

CBR at 100% MDS	
	80.8%
CBR at 95% MDS	72.7%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 20403104022
 Ing. Brucele Rando Anahue Choquepuma
 CIP: 205638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 15% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES HATUN RUMIYOC S.A.C.

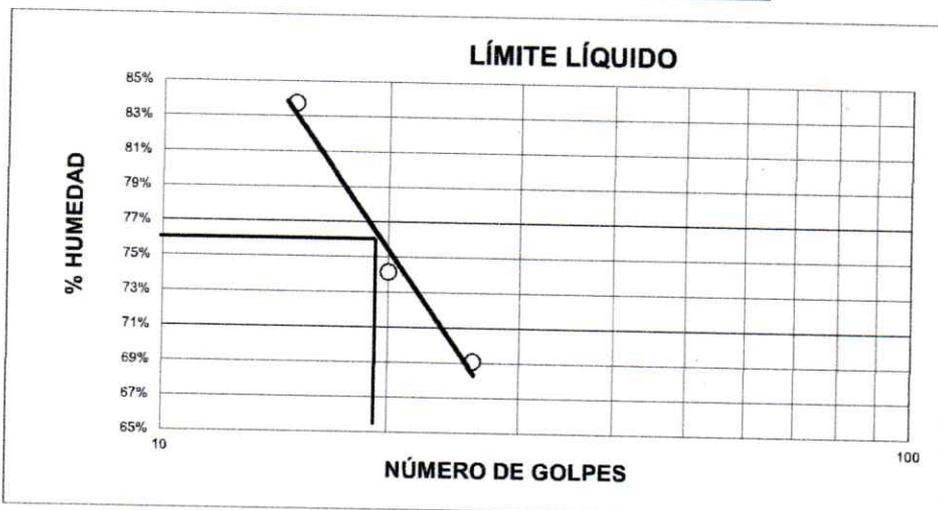
LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	24.16 g	24.32 g	22.50 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	18.90 g	19.10 g	18.32 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	5.26 g	5.22 g	4.18 g
PESO SUELO SECO	6.28 g	7.04 g	6.05 g
% HUMEDAD	83.76%	74.15%	69.09%
LL = 75.67%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	18.50 g	19.01 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	18.48 g	18.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	0.02 g	1.01 g
PESO SUELO SECO	10.32 g	9.78 g
% HUMEDAD	0.19%	10.33%
LP = 5.26%		

RESULTADOS	
LL	= 75.67%
LP	= 5.26%
IP	= 70.41%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad



HATUN RUMIYOC S.A.C.
 RUC: 20103104022

Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
 C.I. 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 15% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA

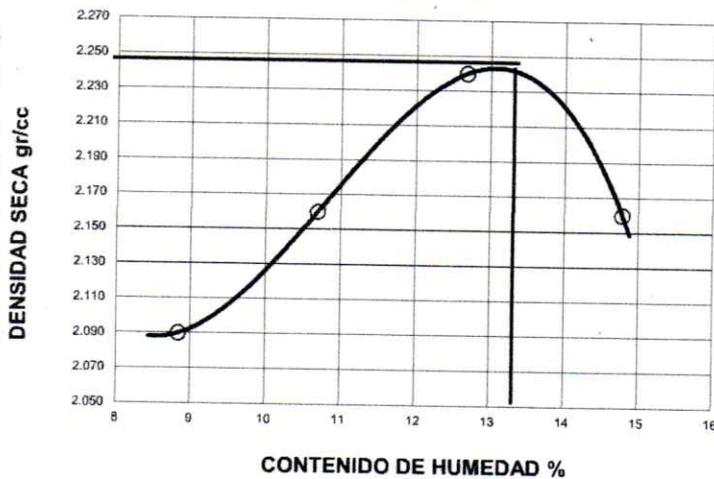


**LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.**

PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10820	11060	11340	11260	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	4772	5012	5292	5212	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	2.26	2.38	2.51	2.47	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	2.09	2.16	2.24	2.16	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.26 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.35 %

HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 20603104022
Ing. Brucele Ramírez Ahahite Choquepuma
C.P. 205638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACION
 SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI
 LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO
 UBICACION : CANTERA O'ENQO + 15% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



LABORATORIO DE
 MECANICA DE SUELOS Y
 MATERIALES HATUN
 RUMIYOQ S.A.C.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
 (ASTM D-1883)

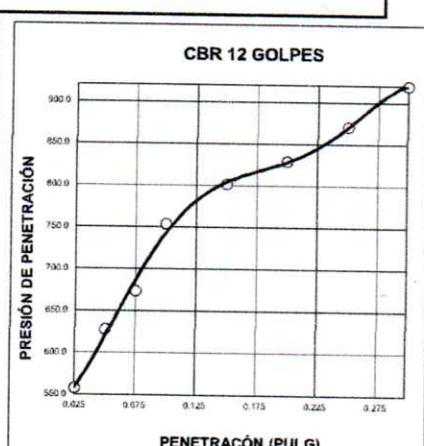
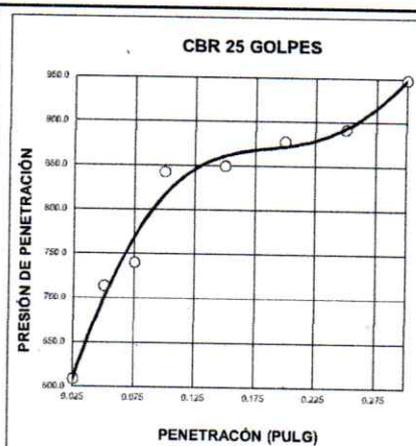
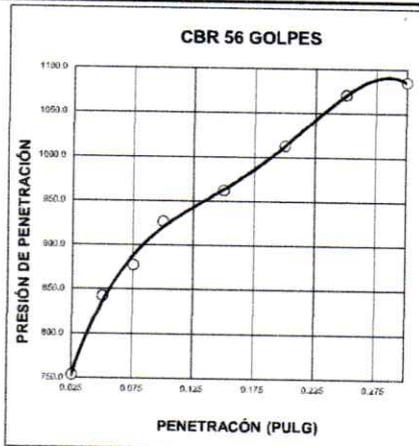
	1		2		3	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	1		2		3	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo gr.	12756	12380	11250			
Peso del molde gr.	8227	8242	7852			
Peso del suelo húmedo gr.	4529	4138	3398			
Volumen del molde cc.	2307	2307	2191			
Densidad Humeda gr./cc.	1.96	1.79	1.55			
Humedad %	12.80	12.80	12.80			
Densidad seca gr./cc.	1.740	1.580	1.370			
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	468.00	400.00	300.00			
Tarro suelo seco gr.	414.80	354.80	265.90			
Agua gr.	53.20	45.40	34.10			
Peso del Tarro gr.	0.00	0.00	0.00			
Peso del suelo seco gr.	414.80	354.80	265.90			
Humedad %	12.80	12.80	12.80			
Promedio de la humedad %						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

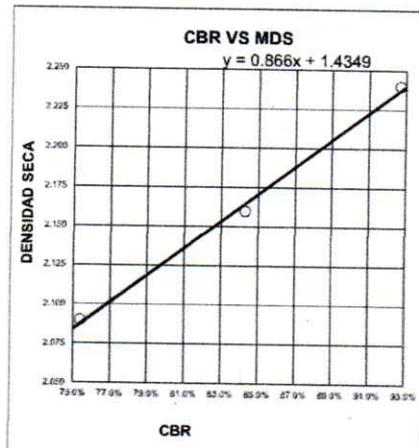
CTE = 9.6168 * DIAL + 20.366			Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	
Tiempo	mm	plg													
0.000	0.000	0.000													
0.500	0.640	0.025	145	2261.6	753.9		123	1826.3	608.8		115	1673.5	557.8		
1.000	1.270	0.050	158	2528.4	842.8		139	2140.7	713.6		126	1884.3	628.1		
1.500	1.910	0.075	163	2632.9	877.6		143	2221.1	740.4		133	2021.5	673.6		
2.000	2.540	0.100	170	2780.7	926.9	92.69%	158	2528.4	842.8	84.28%	145	2261.6	753.9	75.39%	
4.000	5.080	0.150	175	2887.4	962.5		159	2549.3	849.8		152	2404.4	801.5		
6.000	7.620	0.200	182	3038.4	1012.8	67.52%	163	2632.9	877.6	58.51%	156	2486.9	829.0	55.27%	
8.000	10.160	0.250	190	3213.0	1071.0		165	2674.9	891.6		162	2811.9	870.6		
10.000	12.700	0.300	192	3257.0	1085.7		173	2844.6	948.2		169	2759.5	919.6		



Golpes	CBR	DS
56	92.7%	2.24
25	84.3%	2.16
12	75.4%	2.09

MDS	2.24
95% MDS	2.13

CBR al 100% MDS	92.7%
CBR al 95% MDS	80.0%



HATUN RUMIYOQ S.A.C.
 RUC: 20603104022
 Ing. Brucele Ramírez Aranda Choquepuma
 CIP: 206638
 GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 20% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



**LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.**

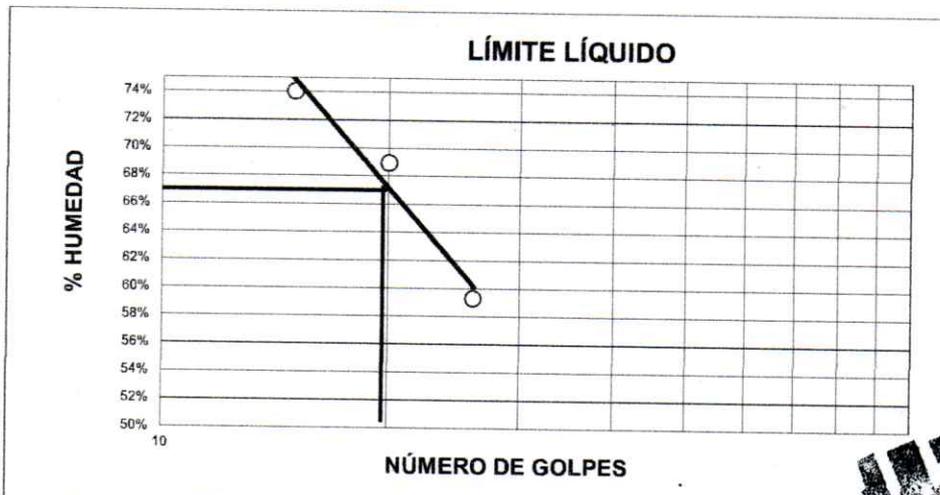
LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110			
ENSAYO N°	1	2	3
N° DE GOLPES	15	20	26
RECIPIENTE N°	1	2	3
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	26.16 g	26.32 g	23.50 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	20.40 g	20.50 g	19.32 g
PESO DEL RECIPIENTE	12.62 g	12.06 g	12.27 g
PESO AGUA	5.76 g	5.82 g	4.18 g
PESO SUELO SECO	7.78 g	8.44 g	7.05 g
% HUMEDAD	74.04%	68.96%	59.29%
LL = 67.43%			

LÍMITE PLÁSTICO - MTC E 111		
ENSAYO N°	1	2
RECIPIENTE N°	4	5
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	18.56 g	18.31 g
RECIPIENTE + SUELO SECO	17.48 g	18.00 g
PESO DEL RECIPIENTE	8.16 g	8.22 g
PESO AGUA	1.08 g	0.31 g
PESO SUELO SECO	9.32 g	9.78 g
% HUMEDAD	11.59%	3.17%
LP = 7.38%		

RESULTADOS	
LL =	67.43%
LP =	7.38%
IP =	60.05%

IP	DESCRIPCIÓN
0 - 3	No plástico
3 - 15	Baja plástico
15 - 30	Plasticidad
> 30	Alta plasticidad



HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 20603104022

Ing. Brucele Ramírez Anahue Choquepuma
CIP: 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 20% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



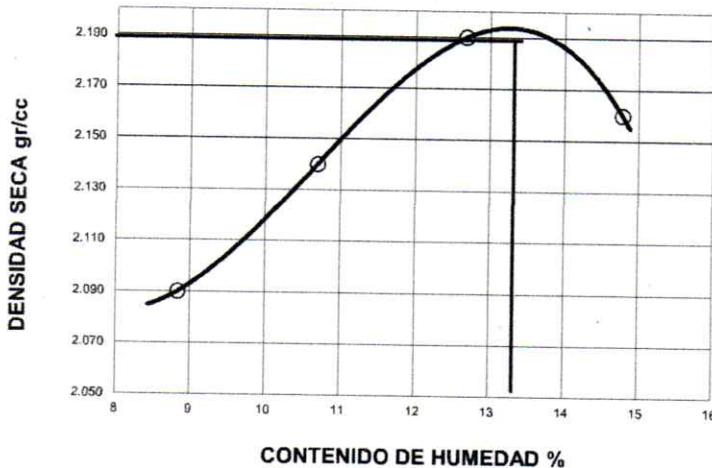
**LABORATORIO DE
MECANICA DE SUELOS Y
MATERIALES HATUN
RUMIYOC S.A.C.**

PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10820	11030	11240	11260	
PESO MOLDE	6048	6048	6048	6048	
PESO SUELO COMPACTADO	4772	4982	5192	5212	
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110	
DENSIDAD HUMEDA	2.26	2.36	2.46	2.47	
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	260.00	453.10	350.00	416.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	240.00	411.20	312.00	364.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	20.00	41.90	38.00	52.00	
PESO DE SUELO SECO	240.00	411.20	312.00	364.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	8.33	10.19	12.18	14.29	
DENSIDAD SECA	2.09	2.14	2.19	2.16	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.20 gr/cm³

Conten. humedad óptima
13.45 %

HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC/20603104022
Ing. Brucele Ramiro Anahua Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

PROYECTO : ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022

SOLICITA : JOSE ALFREDO MONZON CONDORI

LUGAR : DISTRITO DE SAN SEBASTIAN PROVINCIA DE CUSCO REGION CUSCO

UBICACIÓN : CANTERA Q'ENQO + 20% NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA



VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
(ASTM D-1883)

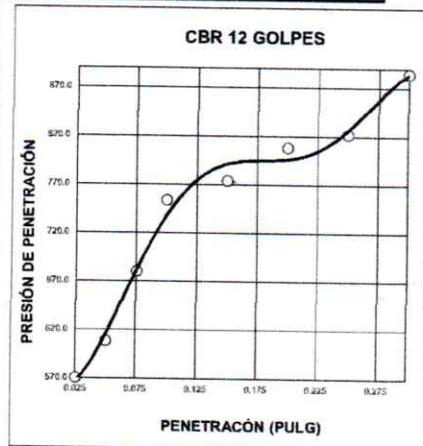
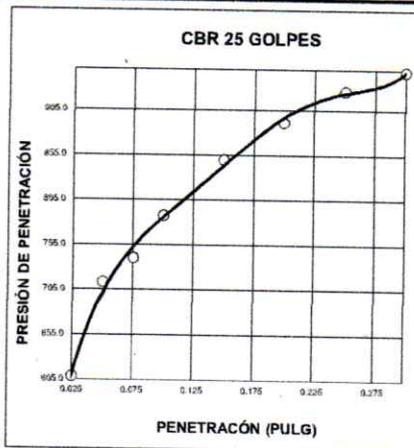
Molde N°	1		2		3	
	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG.		SIN SUMERGIR	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12756	12380	11250	11250	11250
Peso del molde	gr.	8227	8242	4138	7852	3398
Peso del suelo húmedo	gr.	4529	4138	2307	2191	1280
Volumen del molde	cc.	2307	2307	1.79	1.55	1.55
Densidad Humeda	gr./cc.	1.96	1.79	1.280	1.370	1.370
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Densidad seca	gr./cc.	1.740	1.590	1.370	1.370	1.370
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	468.00	400.00	300.00	300.00	300.00
Tarro suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90	265.90	265.90
Agua	gr.	53.20	45.40	34.10	34.10	34.10
Peso del Tarro	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del suelo seco	gr.	414.80	354.60	265.90	265.90	265.90
Humedad	%	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				plg	%		plg	%		plg	%
16-05-23	10:15	0									
17-05-23	10:15	24	3.00	0.030	0.75%	4.00	0.040	0.010	5.00	0.050	0.013
18-05-23	10:15	48	5.00	0.050	1.25%	6.00	0.060	0.015	7.00	0.070	0.018
19-05-23	10:15	72	6.00	0.060	1.50%	8.00	0.080	0.020	9.00	0.090	0.023

PENETRACION

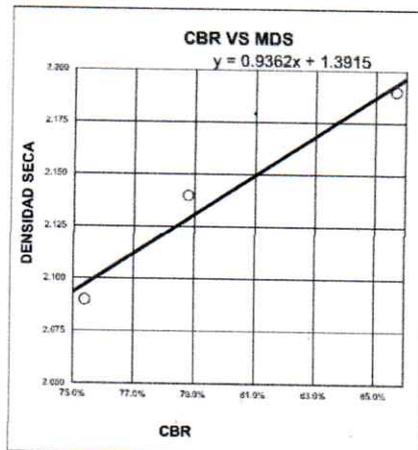
CTE = 9.6168*DIAL+20.366			Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	Lectura Dial	Lectura lb	Presiones PSI	CBR %	
Tiempo	mm	plg													
0.000	0.000	0.000													
0.500	0.640	0.025	130	1962.4	654.1		123	1826.3	608.8		117	1711.4	570.5		
1.000	1.270	0.050	148	2322.5	774.2		139	2140.7	713.6		123	1826.3	608.8		
1.500	1.910	0.075	154	2445.6	815.2		143	2221.1	740.4		134	2041.2	680.4		
2.000	2.540	0.100	160	2570.1	856.7	85.67%	150	2363.4	787.8	78.78%	145	2261.6	753.9	75.39%	
4.000	5.080	0.150	168	2738.3	912.8		159	2549.3	849.8		148	2322.5	774.2		
6.000	7.620	0.200	175	2897.4	962.5	64.17%	165	2674.9	891.6	59.44%	153	2425.0	808.3	53.89%	
8.000	10.160	0.250	179	2973.5	991.2		170	2780.7	926.9		155	2466.2	822.1		
10.000	12.700	0.300	185	3103.6	1034.5		173	2844.6	948.2		164	2653.9	864.6		



Golpes	CBR	DS
56	85.7%	2.19
25	78.8%	2.14
12	75.4%	2.09

MDS	2.19
95% MDS	2.08

CBR al 100% MDS	85.7%
CBR al 95% MDS	73.6%



HATUN RUMIYOC S.A.C.
RUC: 20603104022

Ing. Brucele Ramiro Anahue Choquepuma
CIP. 206638
GERENTE GENERAL

DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO AASHTO 93

PROYECTO:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
WILLKARPAY, CUSCO, 2022

DATOS DE DISEÑO

TRAFICO (ESAL's)	100000	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Po)	4.5	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Pt)	1	----
MODULO DE ROPTURA (S'c)	463.724056	Psi
MODULO DE ELASTICIDAD (Ec)	3503968.23	Psi
RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE (K)	186.846618	Mpa/m
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE C/	3.2	----
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.9	----
NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	75	----
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-0.674	----
ERROR ESTANDAR COMBINADO (So)	0.3	----

DISEÑO DE ESPESORES

SUB BASE GRANULAR	10.00	cm
LOSA DE CONCRETO	17.60	cm

DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO AASHTO 93

PROYECTO:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
WILLKARPAY, CUSCO, 2022

DATOS DE DISEÑO

TRAFICO (ESAL's)	100000	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Po)	4.5	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Pt)	1	----
MODULO DE ROPTURA (S'c)	463.724056	Psi
MODULO DE ELASTICIDAD (Ec)	3503968.23	Psi
RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE (K)	197.890468	Mpa/m
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE C/	3.2	----
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.9	----
NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	75	----
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-0.674	----
ERROR ESTANDAR COMBINADO (So)	0.3	----

DISEÑO DE ESPESORES

SUB BASE GRANULAR	10.00	cm
LOSA DE CONCRETO	15.70	cm

DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO AASHTO 93

PROYECTO:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
WILLKARPAY, CUSCO, 2022

DATOS DE DISEÑO

TRAFICO (ESAL's)	100000	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Po)	4.5	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Pt)	1	----
MODULO DE ROPTURA (S'c)	463.724056	Psi
MODULO DE ELASTICIDAD (Ec)	3503968.23	Psi
RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE (K)	175.601566	Mpa/m
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE C/	3.2	----
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.9	----
NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	75	----
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-0.674	----
ERROR ESTANDAR COMBINADO (So)	0.3	----

DISEÑO DE ESPESORES

SUB BASE GRANULAR	10.00	cm
LOSA DE CONCRETO	17.50	cm

DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO AASHTO 93

PROYECTO:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
WILLKARPAY, CUSCO, 2022

DATOS DE DISEÑO

TRAFICO (ESAL's)	100000	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Po)	4.5	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Pt)	1	----
MODULO DE ROPTURA (S'c)	463.724056	Psi
MODULO DE ELASTICIDAD (Ec)	3503968.23	Psi
RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE (K)	166.072137	Mpa/m
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE C/	3.2	----
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.9	----
NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	75	----
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-0.674	----
ERROR ESTANDAR COMBINADO (So)	0.3	----

DISEÑO DE ESPESORES

SUB BASE GRANULAR	10.00	cm
LOSA DE CONCRETO	19.50	cm

DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO AASHTO 93

PROYECTO:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO
NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA -
WILLKARPAY, CUSCO, 2022

DATOS DE DISEÑO

TRAFICO (ESAL's)	100000	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Po)	4.5	----
INDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL (Pt)	1	----
MODULO DE ROPTURA (S'c)	463.724056	Psi
MODULO DE ELASTICIDAD (Ec)	3503968.23	Psi
RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE (K)	146.568605	Mpa/m
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE C/	3.2	----
COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)	0.9	----
NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	75	----
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)	-0.674	----
ERROR ESTANDAR COMBINADO (So)	0.3	----

DISEÑO DE ESPESORES

SUB BASE GRANULAR	10.00	cm
LOSA DE CONCRETO	20.00	cm

PANEL FOTOGRAFICO



Recoleccion de muestra para pruebas de CBR cantera Qenco



Muestras de material granular para base, Cantera Qenqo



Recolección de muestra subrasante cantera 01



Recolección de muestra subrasante cantera 02



Recolección de muestra subrasante calicata 03



Granulometria para clasificación SUCS



LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO



ENSAYO PROCTOR



ENSAYO PROCTOR



ENSAYO PROCTOR



NANOPLAQUETAS VEGETALES



ENSAYO CBR







ENSAYO CBR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, PINTO BARRANTES RAUL ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DEL PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO NANOPLAQUETAS DE BETERRAGA AZUCARERA - VÍA AGUA BUENA - WILLKARPAY, CUSCO, 2022", cuyo autor es MONZON CONDORI JOSE ALFREDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 03 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
PINTO BARRANTES RAUL ANTONIO DNI: 07732471 ORCID: 0000-0002-9573-0182	Firmado electrónicamente por: RPINTOBA el 15-07- 2023 22:02:57

Código documento Trilce: TRI - 0566241