



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y  
pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III,  
Cajamarca, 2022

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

**Ingeniera Civil**

**AUTORA:**

Ramos Herrera, Scarleth Sabrina (orcid.org/0000-0003-0559-1703 )

**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**

**2022**

## **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a mi abuela Norelia que con su amor, paciencia y esfuerzo me permite llegar a cumplir hoy un sueño más.

A toda mi familia por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por su preocupación en todo momento.

## **Agradecimiento**

A todos los ingenieros que me orientaron con sus conocimientos a lo largo de la carrera, y por sus lecciones que me servirán en mi proyecto de vida.

A la Universidad César Vallejo por la oportunidad de formar profesionales dignos en sus respectivas carreras.

## Índice de contenidos

Cátatula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	18
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	18
3.2 Variables y operacionalización.....	19
3.3 Población, muestra y muestreo.....	22
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5 Procedimientos .....	26
3.6 Método de análisis de datos .....	29
3.7 Aspectos éticos.....	29
IV. RESULTADOS.....	31
V. DISCUSIÓN .....	45
VI. CONCLUSIONES .....	49
VII. RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS .....	59

## Índice de tablas

Tabla N°1: Fichas técnicas.....	25
Tabla N°2: Validez.....	25
Tabla N°3: Ubicación calicatas de estudio .....	31
Tabla N°4: Perfil estratigráfico de las calicatas .....	31
Tabla N°5: Resultados análisis granulométrico .....	32
Tabla N°6: Clasificación Índice de plasticidad .....	32
Tabla N°7: Resultados California Bearing Ratio.....	33
Tabla N°8: Espesores tratamiento superficial bicapa .....	33
Tabla N°9: Cálculo de ESAL .....	35
Tabla N°10: Datos de la estructura del pavimento .....	35
Tabla N°11: Datos diseño de pavimento .....	36
Tabla N°12: Espesores del pavimento flexible .....	36
Tabla N°13: Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas .....	38
Tabla N°14: Estabilidad de las mezclas .....	39
Tabla N°15: Flujo de las mezclas .....	40
Tabla N°16: Índice de rigidez de las mezclas.....	41
Tabla N°17: Costo Mantenimiento.....	42

## Índice de figuras

Figura 1: Tratamiento Superficial Simple (TSS) .....	9
Figura 2: Tratamiento Superficial Doble (TSD).....	10
Figura 3: Limpieza y remoción de raíces.....	11
Figura 4: Aplicación capa de imprimación .....	11
Figura 5: Aplicación de emulsión asfáltica .....	12
Figura 6: Rotura emulsión en obra .....	12
Figura 7: Colocación emulsión asfáltica y agregado .....	13
Figura 8: Compactación neumática.....	13
Figura 9: Capas en tratamiento superficial bicapa .....	14
Figura 10: Proceso constructivo de tratamiento superficial bicapa.....	14
Figura 11: Pavimento flexible .....	15
Figura 12: Tramo KM0+000 al KM1+000 en planta.....	23
Figura 13: Estructura tratamiento superficial bicapa .....	34
Figura 14: Estructura pavimento flexible .....	37
Figura 15: Estructuras de pavimentación .....	37
Figura 16: Ensayos de peso específico teórico máximo .....	38
Figura 17: Ensayos de estabilidad .....	40
Figura 18: Ensayos de flujo.....	41
Figura 19: Ensayos del índice de rigidez.....	42
Figura 20: Costos mantenimiento.....	43
Figura 21: Costos de construcción.....	44

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar de qué manera la evaluación técnico-económica es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022. El tipo de investigación fue aplicada, con enfoque cuantitativo, y diseño experimental. La muestra estuvo constituida por un kilómetro representativo del total de los 14.91km de la vía afirmada, por lo que corresponde al muestreo no probabilístico intencional.

Para ello se elaboraron ocho briquetas con dimensiones de 2 ½” de espesor y 4” de diámetro, cuatro fueron elaboradas con mezcla de emulsión catiónica de rotura rápida correspondiente al tratamiento superficial bicapa y cuatro de mezcla asfáltica en caliente correspondiente al pavimento flexible, las cuales fueron sometidas a la prueba de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041, y al ensayo de estabilidad y flujo Marshall ASTM D-1559.

Se tuvieron como resultados en los espesores finales de diseño, tratamiento superficial bicapa de 37.50cm y pavimento flexible de 43.00cm. En relación con peso específico teórico máximo, se obtuvo una similitud media de 2.52, entre ambos sistemas. En estabilidad promedio, la emulsión asfáltica catiónica fue superior a la mezcla de asfalto en caliente por 389.13 kilogramos. En el ensayo de flujo promedio, 11.50mm en la mezcla de tratamiento superficial bicapa y 9.03mm en la mezcla de pavimento flexible. Referente, a la inversión económica entre ambos sistemas se concluyó que la ejecución del tratamiento superficial bicapa representa una menor inversión de recursos en comparación con la pavimentación flexible, que solo se ve contrastada en el mayor mantenimiento periódico que requiere el tratamiento superficial. Concluyendo que, las ventajas técnicas se mantienen, pero el tratamiento superficial bicapa cumple en mayor medida las expectativas tanto técnicas como económicas para la vía afirmada de estudio.

**Palabras clave:** Tratamiento superficial bicapa, pavimento flexible, evaluación técnica, evaluación económica.

## Abstract

The objective of this research was to determine how the technical-economic evaluation is feasible between the two-layer surface treatment and flexible pavement for the Choros - Puente Chamaya III road, Cajamarca, 2022. The type of research was applied, with a quantitative approach, and experimental design. The sample consisted of a representative kilometer of the total 14.91 km of the affirmed road, which corresponds to the intentional non-probabilistic demonstration.

For this, eight briquettes with dimensions of 2 ½" thick and 4" in diameter were made, four were made with a fast-breaking cationic emulsion mixture corresponding to the two-layer surface treatment and four with hot asphalt mixture corresponding to the flexible pavement, which They were subjected to the maximum theoretical specific weight test for asphalt mixtures ASTM D-2041, and to the Marshall stability and flow test ASTM D-1559.

The results were obtained in the final design thicknesses, two-layer surface treatment of 37.50 cm and flexible pavement of 43.00 cm. In relation to the maximum theoretical specific weight, an average similarity of 2.52 was obtained between both systems. In average stability, the cationic asphalt emulsion was superior to the hot mix asphalt by 389.13 kilograms. In the average flow test, 11.50mm in the two-layer surface treatment mixture and 9.03mm in the flexible pavement mixture. Regarding the economic investment between both systems, it was concluded that the execution of the two-layer surface treatment represents a lower investment of resources compared to the flexible pavement, which is only contrasted in the greater periodic maintenance that the surface treatment requires. Concluding that the technical advantages are maintained, but the two-layer surface treatment meets to a greater extent the technical and economic expectations for the stated study route.

**Keywords:** Bilayer surface treatment, flexible pavement, technical evaluation, economic evaluation.

## I. INTRODUCCIÓN

Las vías de acceso terrestres son limitadas para zonas aisladas a las ciudades principales del país siendo este caso más notorio en las rutas provinciales, que cuentan con carreteras no pavimentadas. De esta manera, el área de estudio se centró en la vía afirmada existente entre el distrito de Choros y el Puente Chamaya III, con una longitud de 14.91 km perteneciente a la Provincia de Cutervo, donde es considerada como la única ruta terrestre de acceso entre las localidades de Choros, Jaén y Cutervo.

Pese a esto, es una carretera no pavimentada que solo cuenta con afirmado, motivo por el que no ofrece un servicio vial óptimo entre las localidades mencionadas. En consecuencia, los vehículos demoran una hora y veinte minutos aproximadamente para recorrer su distancia total, siendo el doble de tiempo de lo que se realizaría con una vía pavimentada que permita su circulación a una velocidad promedio.

En el Perú, según el Ministerio de Economía y Finanzas (2015) las soluciones de pavimentación básicas consisten en alternativas de carácter técnico, económico y ambiental, que proporcionen a la capa de rodadura un mejor nivel de servicio con el mayor tiempo de vida útil dependiendo de las características propias del proyecto, estas opciones pueden ser recubrimientos bituminosos, lechadas asfálticas, tratamientos superficiales simples, tratamientos superficiales múltiples, pavimento flexible, entre otros; de las cuales destacan el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible, porque representan opciones muy populares en aplicación y viabilidad. Sin embargo, entre estas alternativas existen diferencias notables respecto a su diseño, costo y mantenimiento.

Por este motivo, se planteó el problema general: ¿De qué manera la evaluación técnico-económica es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022?

Los sistemas de pavimentación se diseñaron para cubrir los requisitos del proyecto como estratigrafía de la zona, CBR de las capas, espesores de diseño, ejecución y mantenimiento.

De acuerdo con esto, para ambas alternativas se analizó la información recopilada en el diseño como espesor de las capas y sistemas de mantenimiento. Por esto, para la evaluación técnica se realizaron Mdos ensayos, el primer ensayo determinó el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas normado por ASTM D-2041, o MTC E-508, y el segundo, fue el ensayo de estabilidad y flujo Marshall normado por ASTM D-1559, o MTC E-504.

Por lo expuesto anteriormente, la pavimentación en la vía afirmada actual es imprescindible, ya que repercute en muchos aspectos a nivel de la población y localidad. La justificación teórica está enfocada en la evaluación de los sistemas de pavimentación el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible, debido a que ambas alternativas son las más usadas, no obstante, se valoraron cada uno de ellos de acuerdo con las condiciones orográficas de la vía afirmada. La justificación social está orientada en implementar el mejor sistema de pavimentación de las opciones propuestas para que los pobladores tengan mejor accesibilidad a los recursos básicos como productos, servicios, salud y educación, que en consecuencia incrementará la comercialización de servicios y productos entre localidades adyacentes. La justificación económica está enfocada en determinar cuál sistema de pavimentación representa una inversión razonable que optimice los recursos económicos tanto en ejecución como a largo plazo en base al mantenimiento requerido para cumplir el período de vida proyectado. La justificación técnica está enfocada en la ejecución ensayos de los sistemas de pavimentación propuestos para recopilar datos consistentes que comprueben si se cumplen con las exigencias técnicas de la carretera a fin de complementar la fluidez vial ofreciendo una solución rápida que permita la circulación de vehículos.

Por ende, el objetivo general fue determinar de qué manera la evaluación técnico-económica es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022, a partir de la comparación de los resultados de las pruebas antes mencionadas con la respectiva inversión económica que cada alternativa de pavimentación representa.

De igual forma, los objetivos específicos permitieron evaluar si los ensayos presentaron resultados favorables, el primer objetivo específico con relación al

aspecto técnico planteó determinar de qué manera el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022. El segundo objetivo específico, fue determinar de qué manera la estabilidad y flujo Marshall son factibles entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022. Por último, el tercer objetivo específico en relación con el aspecto económico fue determinar de qué manera el costo es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Finalmente, los resultados de los ensayos junto con el costo permitirán tener un sustento medible para aprobar o refutar la hipótesis general, la evaluación técnico-económica es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

## II. MARCO TEÓRICO

En el ámbito internacional, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas ecuatoriano norma la aplicación de los tratamientos superficiales, sin embargo, el control de este material no está detallado en las especificaciones técnicas pues varía dependiendo de las condiciones de la zona donde se aplicará el tratamiento, por lo que solo es riguroso respecto a las características de los agregados, así como a la calidad de la emulsión empleada. Por esto, Álvarez (2017) en su investigación tuvo como objetivo racionalizar el uso del sistema preventivo con morteros asfálticos para la conservación en vías de primer, segundo y tercer orden. En el diseño del mejoramiento con tratamiento superficial simple empleó emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida producida en la fábrica ecuatoriana de emulsión Chova con materiales pétreos menores a 3/8" provistos por una cantera próxima. Los resultados de la investigación afirman que el agregado pasante al tamiz de 3/8" cumple los requerimientos para tratamiento superficial de la norma ISSA. De la misma forma, la mezcla entre el agregado y la emulsión asfáltica resulta estable, consistente y homogénea lo que permite la posterior apertura al tráfico a 3 horas de su aplicación. Empero, esta mezcla no deberá ser colocada si las condiciones ambientales presentan temperaturas inferiores a los 10° C o si existe amenaza de lluvias, dentro de las 72 horas posteriores a su aplicación.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) respecto a carreteras de tercera clase en el manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción, señala que el CBR al 100% de la subrasante debe ser 6.00 mínimo, para asegurar que se encuentra dentro de los límites establecidos y no requerirá de ningún tipo de estabilización adicional por considerarse como subrasante regular. Demostrando que posee buenas condiciones y sí es posible aplicar la capa de asfalto, pero establece que requerirá una base de 20 cm de espesor mínimo en caso varíe el mínimo en los tramos del proyecto para estabilizar el terreno. Asimismo, establece para la preparación de la mezcla en caliente de pavimento flexible, que requiere estar 160°C promedio, ya que sus propiedades físicas a esta temperatura permiten que sea extendida en la superficie de pavimentación, y facilita su próxima apertura manteniendo el bajo flujo vehicular.

Ariza, Sánchez y Carreño (2022) sostienen como objetivo principal de su investigación evaluar las propiedades volumétricas con porcentajes de asfalto natural modificado entre 4 y 6% para construcción y mantenimiento en vías de poco tránsito, procedieron a realizar el diseño de mezclas por el método Marshall para evaluar la resistencia del material ante la aplicación de cargas. Obtuvieron resultados significantes en ambas mezclas al 5,5% de cemento asfáltico, respecto a la mezcla control estabilidad máxima de 17.50 Kn, flujo de 3.5mm e índice de rigidez de 5.3Kn/mm. Mientras que, la mezcla modificada 13.50 Kn, 4.8mm y 2.6Kn/mm, respectivamente. Concluyeron que todos los valores de estabilidad para la mezcla modificada presentan valores inferiores que la mezcla de control lo que evidencia que las modificaciones disminuyen un poco los valores de estabilidad, por lo que tendría un mayor potencial a deformarse por ahuellamiento que la mezcla control. Se evidencia un flujo alto que puede estar relacionado con el elevado porcentaje de vacíos presentes en la mezcla modificada, cabe aclarar que la mezcla no fue modificada con ningún tipo de aditivo, por lo tanto, se espera que con el uso de ellos se pueden optimizar algunas propiedades. A través de la aplicación del método de diseño Marshall y análisis de propiedades volumétricas, se logró deducir que la mezcla modificada cuenta como material con gran potencial para la utilización en la construcción de carreteras, dado que presenta características mecánicas muy aproximadas a la normativa vigente, además muestra beneficios ecológicos debido a la poca contaminación que genera.

Por ende, Caparachin (2018) en su investigación tuvo como objetivo general determinar de qué manera la bicapa reduce el ciclo de mantenimiento en la vía de Huancabamba – Pozuzo de la región Pasco, obtuvo que el costo de mantenimiento anual para la vía rural ascendía a 1,200 dólares por kilómetro al año, que al cambio esta valorizado en 4,200 soles anualmente. Concluyó que la aplicación el mantenimiento de la bicapa es enfocado solo a áreas críticas lo que genera un mejor flujo vehicular, reduciendo el mantenimiento en un 22.58% respecto a la vía afirmada que significa un ahorro de 66,150 soles por pavimentación aplicada, lo cual es favorable económicamente.

El autor nos infiere de su investigación, que la proyección total del costo del mantenimiento vial no solo es el presupuesto de ejecución, pues se debe incluir el gasto de mantenimiento para acatar el ciclo de diseño del proyecto.

En el ámbito nacional, según Menéndez (2018) para el Programa Caminos Rurales del Perú, inicialmente se estableció para los mantenimientos requeridos por los caminos rurales pavimentados, el importe nacional de US\$ 1,200.00 por kilómetro/año. En relación, a los mantenimientos requeridos por caminos rurales no pavimentados, el costo promedio del mantenimiento tiene el precio base de US\$ 1,550 km/año. Es decir, en la longitud de 14.91 km de la carretera de estudio, en el mantenimiento del afirmado anualmente se invierte US\$ 23,110; en comparación con el ahorro que representaría el mantenimiento de la carretera tratada superficialmente que correspondería a US\$ 17, 892, presentando un ahorro de US\$5 218. Cabe resaltar que, el mantenimiento de la vía pavimentada no se realiza con la misma intensidad y profundidad que en el afirmado, pues solo se aplica mantenimiento en los puntos críticos del área total de la carretera. Esta variación de inversión en la carretera no pavimentada representa una pérdida económica para el estado y calidad de vida de sus pobladores porque demanda mayor tiempo de ejecución, pero no asegura ni la mitad de las condiciones de serviciabilidad que ofrece una vía pavimentada.

De igual manera, Mancha (2016) en su investigación buscó demostrar las ventajas entre los tratamientos slurry seal y granular convencional respecto a una menor inversión económica. Obtuvo como resultados, la carretera de estudio fue clasificada como de tercera clase, el mantenimiento anual con slurry seal se realizaría con una frecuencia de 5 años, con emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1 para un espesor 0.10m resultando un costo de 145,469.25soles por kilómetro. Concluyendo que la diferencia entre los costos de los tratamientos slurry seal y granular convencional en un período de 5 años, es de 31,388.26soles. Por lo que, en un inicio el costo del slurry seal es elevado, pero por su aplicación quinquenal representa el ahorro mencionado. También que, la elección de la emulsión asfáltica de rotura lenta CSS-1 no representa un peligro por no contener elementos volátiles

ni dañinos para el medio ambiente. Así como, el costo inicial elevado de mantenimiento disminuye significativamente por la frecuencia de su aplicación.

En cambio, Briceño y Tello (2019) tuvieron por objetivo principal comparar el diseño estructural y evaluación económica entre pavimento flexible, rígido y adoquinado según metodología AASHTO -93 en la Av. Miguel Grau. Obtuvieron como resultado IMD de 447 veh/día, por norma ejecutó 3 calicatas con profundidad de 1.50 m, con densidad seca máxima 1.77 gr/cm<sup>3</sup>, humedad óptima 9.30% y CBR 10.40%, con espesores de diseño para pavimento flexible de 3" capa de rodadura, 6" base granular y 4" subbase granular. Costo de la partida de pavimento flexible de 883,554.00 soles para el área total de la Av. Miguel Grau de 763m de longitud y 12m de ancho de calzada, es decir 96.50 soles por m<sup>2</sup>, con solo requerimiento de mantenimiento quinquenal. Concluyo que el pavimento flexible es el más económico en relación con el costo de ejecución por los recursos distribuidos a la construcción de su estructura, pero que el mantenimiento periódico del pavimento rígido y adoquinado cada 10 años, es más barato que el mantenimiento periódico cada 5 años del pavimento flexible.

De la misma forma, Balbin y Chochon (2019) tuvieron como objetivo diseñar una mezcla asfáltica con material reciclado para mejorar el comportamiento mecánico de la pavimentación de la carretera Canta a Huayllay. Respecto a, la mezcla convencional de pavimento flexible con 5.00% de cemento asfáltico obtuvo peso específico teórico de 2.52 gr/cm, promedios de estabilidad 1748.00 kg, flujo de 5.4mm e índice de rigidez de 3228.00 kg/mm. En comparación con los resultados obtenidos de la mezcla mejorada que con 4.10% de cemento asfáltico obtuvo peso específico teórico de 2.46 gr/cm, promedios de estabilidad 1315.40 kg, flujo de 9.0mm e índice de rigidez de 3748.00 kg/mm. Concluyeron que, para el material reciclado se requerirá 5.00% de cemento asfáltico como mínimo, puesto que los porcentajes menores resultaron en cifras que no cubren los mínimos de la estabilidad y flujo de la mezcla convencional de asfalto caliente.

En el ámbito local, Rivera (2017) realizó la simulación en un mosaico con medidas 0.50mx0.50mx2.54cm (1") para verificar si la partida mejoramiento de la superficie

de rodadura cumplía con las normas técnicas del tratamiento superficial bicapa 1”, en consecuencia, el tamaño máximo de los agregados no puede superar 2.54cm, realizó la dosificación en dos capas. La primera capa con 1.9 Lt/m<sup>2</sup> de material bituminoso y 22 kg/m<sup>2</sup> de agregados esparcidos. Mientras que, la segunda capa 1.4 lt/m<sup>2</sup> y 14 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. acorde al espesor total del tratamiento superficial bicapa. La simulación obtuvo en promedio, que la primera capa es de espesor 1.4cm y la segunda de 0.5cm, por tanto, la suma total es menor al precisado en las especificaciones técnicas y metrados del presupuesto, en donde se consideraba un espesor de tratamiento superficial doble igual a 2.54cm. Los datos recopilados de los materiales fueron ejecutados para la base, imprimación y tratamiento superficial bicapa del tramo correspondiente a la vía Bagua- El Parco, y concluyó que no cumple con las especificaciones técnicas por tener menor dosificación al expuesto en la partida de la solución básica, sin embargo, sí cumple con una rugosidad IRI de 2.25 m/km al no exceder, el IRI especificado máximo de 2.50 m/km. En la investigación del autor mencionado, se comparan los aspectos técnicos y sus efectos sobre la obra concluida, para verificar que el proyecto sí cumple con resultados técnicos esperados en la partida de tratamiento superficial doble.

Uchuari (2016) propuso como principal objetivo de investigación, analizar la correlación existente entre estabilidad y módulo de rigidez de mezclas asfálticas diseñadas en caliente. Obteniendo de la mezcla óptima, estabilidad promedio máximo de 1240.23kg, flujo 10.05mm e índice de rigidez de 4858.5kg/mm mediante estadística determinó el coeficiente de correlación lineal en 0.2032. Concluyendo que, la estabilidad resultante del método Marshall tiene correlación lineal directa con los módulos de rigidez, de manera directa, pero con correlación débil, de igual manera, esta conexión representa una variación en la resistencia sí existe una variación considerable en las proporciones de los materiales de la mezcla.

## Teorías

Los tratamientos superficiales no deben ser considerados pavimentaciones en ningún caso porque no aportan ningún valor estructural al pavimento. Sus funciones se desempeñan netamente a nivel superficial, para dotar de una vía nivelada a los afirmados, recubriendo exteriormente de la cohesión a la estructura del pavimento y presentar resistencia a los deslizamientos.

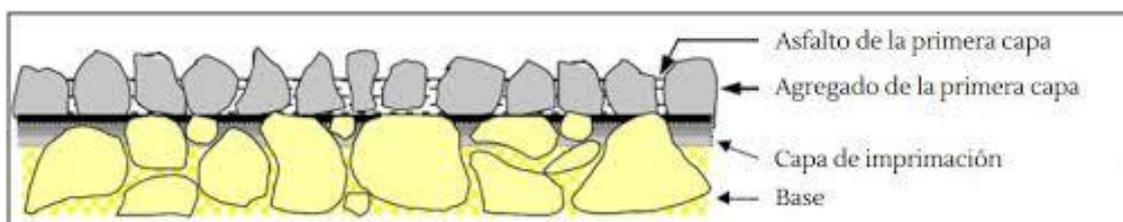
La construcción de tratamientos superficiales múltiples es la superposición de un tratamiento simple sobre otro de iguales condiciones, a excepción de que el agregado de la capa más superficial debe ser de la mitad de tamaño del usado en la capa de fondo. Este detalle técnico empírico es una regla general que se conoce en campo, pero no está normada en base a ningún reglamento oficial.

En general, las soluciones básicas de mejoramiento superficial pueden recubrir tanto superficies pavimentadas como bases granulares sin revestimiento para brindar un acabado transitable que soporte condiciones climáticas adversas.

El tratamiento monocapa o simple, sirve para recubrir bases granulares expuestas a mermarse, del mismo modo impermeabilizar la superficie de precipitaciones y mitigar partículas dispersas de polvo.

En la siguiente imagen, se observa a nivel estructural los componentes de un tratamiento superficial simple.

Figura 1: Tratamiento Superficial Simple (TSS)

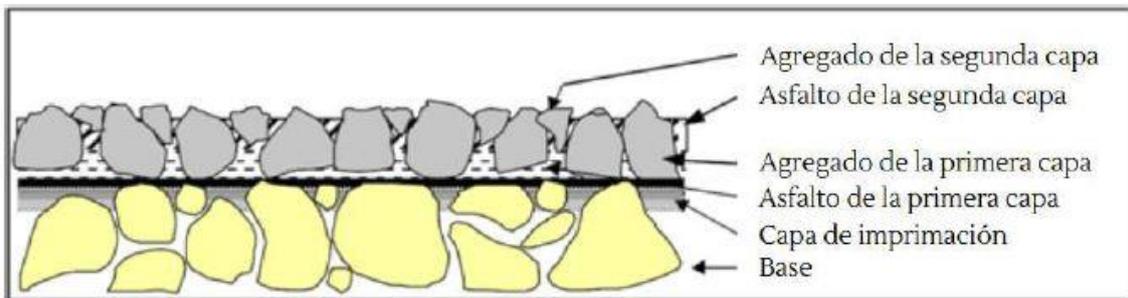


Fuente: Austroads, 2016.

En el tratamiento superficial simple se pueden observar vacíos en su superficie porque no presenta un recubrimiento extra con material pétreo, pero que sí puede llenarse con material ligante para ocupar esos espacios y que la superficie sea nivelada con rugosidad moderada.

En comparación, el tratamiento superficial bicapa se compone por dos capas como se detalla en la figura 2, en la capa más profunda presenta un agregado pétreo del doble de tamaño de la capa más superficial. Esto para que el agregado más fino entre ambos se asiente por gravedad entre el agregado más grande que conforma la capa base.

Figura 2: Tratamiento Superficial Doble (TSD)



Fuente: Austroads, 2016.

Considerando las estructuras expuestas, se infiere que la principal diferencia entre los tratamientos superficiales depende del número de capas, dado que se distinguen por su doble recubrimiento, pero con agregado moderado de tamaño dependiendo en la capa que se encuentre. Adicionalmente, el tratamiento superficial doble no requiere mayor cantidad de ligante, puesto que los espacios sobrantes serán ocupados por material pétreo que se acomodará en la segunda capa de tratamiento, del mismo modo, ambos tipos de recubrimiento serán compactados por vibradores neumáticos para lograr sedimentar las partículas de los agregados y obtener un mejor acabado.

A continuación, se detalla el proceso constructivo de un tratamiento aplicado directamente sobre la base granular, debido a que no cuenta con una pavimentación asfáltica previa.

- Preparación de la superficie: Inicialmente, en el aspecto técnico se debe asegurar que la subbase y base cuenten con el CBR mínimo necesario para que no requieran una estabilización previa. Verificado esto, las capas se compactan y diseñan de tal forma que en conjunto tengan la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tránsito durante el período de diseño establecido.

Por regla general, los tratamientos superficiales en vías afirmadas se ubican en poblados alejados inmersos en zonas con vegetación prominente, lo que puede llegar a invadir la calzada proyectada, para evitar esto se realiza la limpieza con la remoción de raíces o material vegetal dentro de la vía a trabajar.

Figura 3: Limpieza y remoción de raíces



Fuente: Victorian State Road Authority, 2018.

- Capa de imprimación: Es un riego uniforme de emulsión asfáltica que se aplica sobre la base granular antes de la colocación del tratamiento superficial, para mejorar la adherencia entre el tratamiento y la base granular, reducir la emisión de polvo y convertir a la base en una superficie menos permeable. Antes de colocar esta capa, es necesario asegurarse de que la base esté libre de piedras, barro y polvo, que puedan evitar que el ligante asfáltico se infiltre en la superficie. Otra medida, es barrer la superficie de manera manual para tramos cortos o con una barredora mecánica para vías de más de 100metros.

Figura 4: Aplicación capa de imprimación



Fuente: Victorian State Road Authority, 2018.

- Emulsión asfáltica en la primera capa: Seguidamente, se debe colocar la emulsión asfáltica con un camión aspersor. Es importante que, el riego abarque toda el área del tratamiento con uniformidad. Para asegurar que el aspersor de la emulsión asfáltica tenga un óptimo funcionamiento se realiza un tramo de prueba de 100 metros.

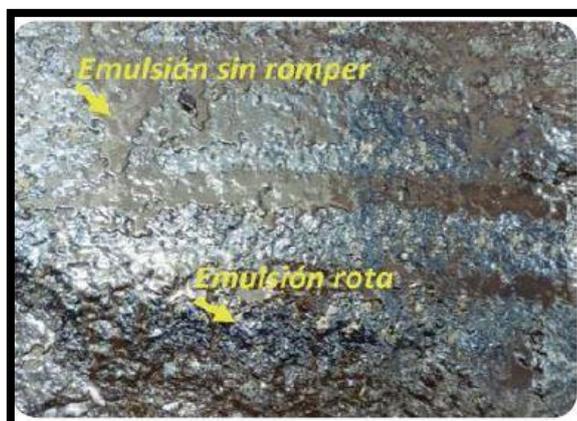
Figura 5: Aplicación de emulsión asfáltica



Fuente: Victorian State Road Authority, 2018.

La emulsión asfáltica cumple la función de ligante de la primera capa para provocar rotura al aplicarse, este término se refiere a que el agua contenida en la emulsión se ha evaporado y se puede identificar por la diferencia de coloración, ya que la emulsión inicial es color café y luego de la rotura se vuelve de color negro oscuro. Para este tratamiento en provincias se utiliza una emulsión asfáltica de rotura rápida y alta viscosidad.

Figura 6: Rotura emulsión en obra



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, 2015.

- Colocación de los agregados: El camión aspersor de emulsión asfáltica debe ser seguido de la maquinaria de dispersión del agregado pétreo dosificado a máximo 30 metros de distancia, esto para esparcirlo pronto en el espacio cubierto por ligante.

Figura 7: Colocación emulsión asfáltica y agregado



Fuente: North Carolina department of transportation, 2015.

- Compactación: Se procede a compactar la superficie, con compactadores neumáticos, ya que los metálicos pueden provocar aplastamiento de los agregados aun no adheridos totalmente a la mezcla asfáltica.

Sí se presentan excesos de agregado es normal que algunos agregados queden sueltos, pero no se deben dejar en la vía de trabajo porque perjudicarán la posterior capa que se aplicará. Por esto, solo se debe barrer después de que la emulsión asfáltica ha roto, debido a que se puede producir desprendimiento de las partículas embebidas en el ligante.

Figura 8: Compactación neumática



Fuente: North Carolina department of transportation, 2015.

- Emulsión asfáltica en la segunda capa: Después de que, se verifique que la primera capa cumple con los requerimientos técnicos y calidad efectiva, se procede nuevamente, a la aplicación de la emulsión asfáltica en la segunda capa. Que constará de agregado pétreo con la mitad del tamaño de las partículas en comparación con la primera capa.

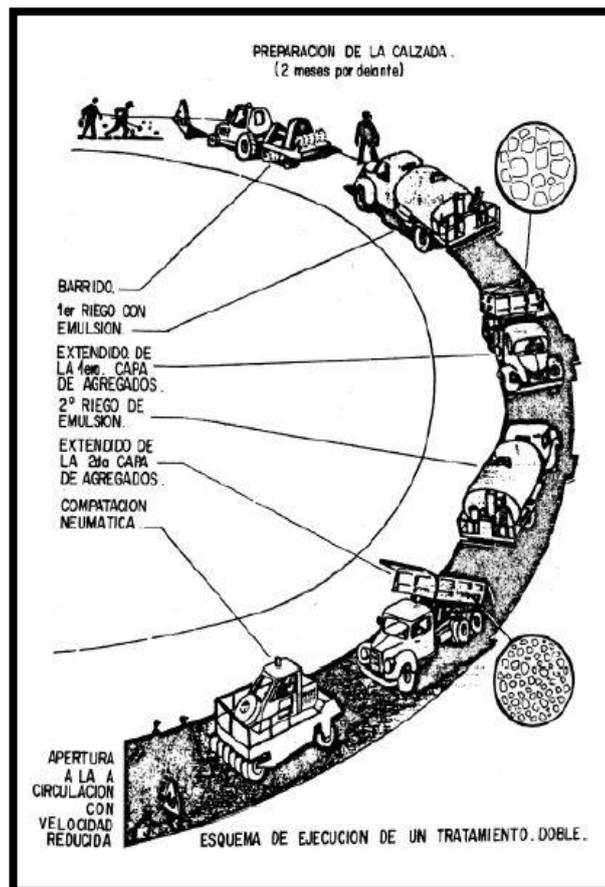
Figura 9: Capas en tratamiento superficial bicapa

Segunda capa	1 pulgada
Primera capa	

Fuente: Elaboración propia

Explicación gráfica del proceso constructivo del tratamiento superficial bicapa con emulsión asfáltica, desde el barrido hasta su apertura al tráfico:

Figura 10: Proceso constructivo de tratamiento superficial bicapa

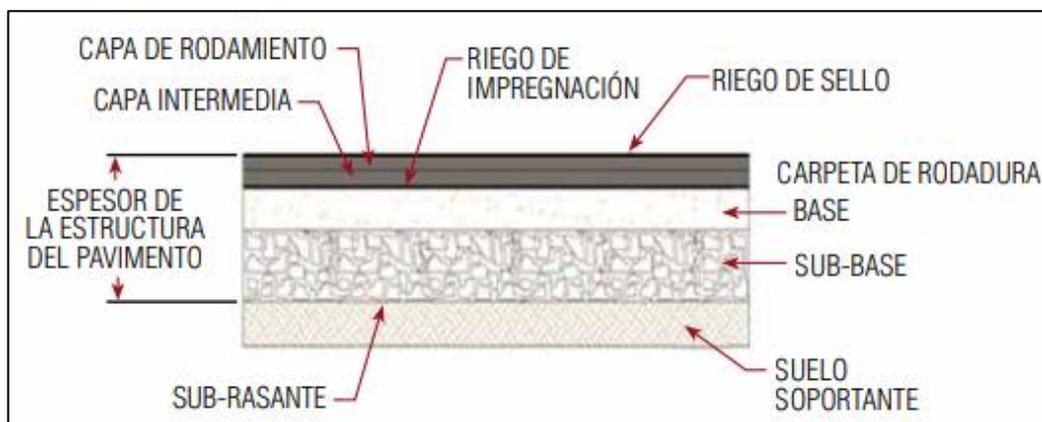


Fuente: A Basic Asphalt Emulsion Manual. United States, 1992.

Respecto al pavimento flexible, el Ministerio de transportes y comunicaciones (2008) lo define en el Manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, como el conjunto de capas con espesores y materiales diseñados para distribuir uniformemente los esfuerzos del pase vehicular sobre la carpeta de rodadura hacia las capas más internas de su estructura final.

Por esto, se debe tener en consideración que los materiales y diseños propuestos tienen la obligación de satisfacer a las cargas vehiculares correspondientes a la zona donde se aplica la pavimentación.

Figura 11: Pavimento flexible



Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones, 2008.

Los parámetros de calidad y espesores son indispensables para la estructuración del pavimento, ya que se relacionan con la carga vehicular del tránsito y los materiales que lo constituyen.

Por esto, según American Association of state highway and transportation officials (1993) el diseño de pavimento flexible se rige internacionalmente por el método AASTHO 1993, debido a que, este método genera una gran aceptación por relacionar las variables del tránsito, aproximando el diseño a valores reales para mayor satisfacción vehicular en nuestro país.

Este método busca satisfacer a un número estructural calculado en base a los requerimientos de las capas de la composición del pavimento. Este número será determinado por:

- El tráfico vehicular, en el período de diseño establecido.
- La capacidad de soporte del suelo sobre el cual será constituido.
- Los niveles de serviciabilidad requeridos durante el ciclo de vida del pavimento.

Según este método, el diseño de las capas que conformaran al pavimento flexible es representado por una ecuación, mediante la que se determina el número estructural (SN). Este número es un indicador relacionado directamente al espesor final precisado en todos los niveles que constituirán al pavimento, resulta de la estimación de los datos de confiabilidad, tránsito, capacidad de soporte del suelo, desviación estándar, e índice de serviciabilidad, que se relacionan en los ábacos normados por la metodología AASTHO 1993.

En este caso, el pavimento flexible está constituido en su capa superficial por una carpeta asfáltica en caliente, debido a que la mezcla que la conforma se prepara para su colocación a una temperatura entre los 150 a 180°C. En el procedimiento de preparación la carpeta asfáltica en caliente pasará principalmente por 3 fases representativas, que son la fase inicial de secado, la fase media de vaporización, y por último la fase de calefacción.

Durante el secado, la mezcla pierda el agua que contenía superficial e internamente en la grava y brea. Para luego, proceder con la siguiente etapa, en la que se produce la vaporización del agua existente en el asfalto. Para finalizar con la calefacción producto de alcanzar la temperatura entre 150 a 180°C, punto en el que alcanza la fluidez de los elementos sólidos como la grava y brea.

Este tipo de pavimento es el más frecuentemente usado, debido a que en su estado fluido es fácil corregir posibles defectos en la geometría presente en la base del terreno. Además, presenta alta adherencia a las capas inferiores. Posteriormente a

su compactación y enfriamiento, este pavimento alcanza una óptima resistencia a las cargas vehiculares.

Por otra parte, los materiales empleados en su elaboración son principalmente agregados tanto gruesos como finos, cemento asfáltico y material bituminoso.

El desempeño de los pavimentos se relaciona a los espesores ejecutados en construcción y su cumplimiento de acuerdo con el diseño en las especificaciones técnicas, ya que la distribución estructural desempeña un rol esencial en el comportamiento de los pavimentos flexibles en servicio.

De La Cruz y Paredes (2021) en su investigación buscaron mejorar la transitabilidad vehicular en base al diseño de pavimento flexible con metodología de aplicada, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. por esto para de carpeta asfáltica se requirió un espesor de 7.50 cm, y tanto para la base como subbase 15.00cm cada una, concluyendo que la transitabilidad vehicular en la avenida mencionada fue mejorada por el diseño del pavimento flexible, pues se basaron en los datos obtenidos de la zona industrial de Lurín, CBR 32.50 en los 2 kilómetros de muestra, así como ESAL de  $1.22 \text{ E}+07$  estimado para 20 años de período. Por esto, el diseño correcto a las necesidades de la vía transitada debe ser incluidos desde su cálculo hasta su ejecución para asegurar el mejor comportamiento de todas las capas, así como en conjunto en la estructura final que permitirá la mejora de la transitabilidad vehicular.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

##### Tipo de investigación

Según, Cabero (2018) la investigación aplicada tiene como fin aplicar conocimientos previos para conceder soluciones prácticas a los diferentes sectores de investigación. Es decir, el tipo de investigación aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado.

Por ende, el tipo de investigación es aplicada, dado que buscó brindar la mejor opción de pavimentación para el contexto determinado de la vía afirmada de Choros – Puente Chamaya III, basándose en los conocimientos de carreteras previamente estudiados en la carrera de ingeniería civil.

##### Diseño de investigación

Se puede definir como el plan para conseguir la información que sea desea, sobre la investigación cuantitativa, Hernández et al (2014) sostiene que se puede clasificar en: investigación experimental y no experimental. De la misma manera, Lieser et al (2018) señala que la investigación experimental, manipula intencionalmente la variable independiente, y posterior a esta variación se examinan los efectos en condiciones controladas, ambos procesos bajo observación del investigador. Mientras que, la investigación no experimental se define por no manipular en ningún aspecto la variable de estudio, en efecto solo observa las consecuencias producidas en su estado natural sin control.

Por lo cual, el diseño de investigación es experimental, teniendo en cuenta que se evaluaron los resultados de las variables independientes, tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para medir su efecto con la variable dependiente evaluación técnico-económica.

De igual forma, para Stanley y Campbell (2015) la investigación experimental se clasifica en tres clases, preexperimental que cuenta con un grado de control mínimo sin manipular la variable independiente, experimental pura que conforman grupos de comparación y equivalencia inicial para analizar su evolución después del tratamiento experimental. Por último, el diseño cuasiexperimental que también manipula deliberadamente la variable independiente para luego analizar los efectos producidos en la dependiente. Sin embargo, se diferencian de los experimentos puros por el grado de confiabilidad, asimismo, los grupos de las variables se forman con anterioridad independiente al experimento y no se asignan al azar.

Por lo tanto, el diseño de la presente tesis es de clase cuasiexperimental porque se manipulará la variable independiente tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para medir su efecto con la variable dependiente evaluación técnico-económica.

#### Enfoque de investigación

Asimismo, la investigación cuantitativa según Ñaupas et al (2016) recopila información para luego analizarlos con resultados cuantitativos sobre las variables de investigación de acuerdo con las propiedades medibles de la misma.

Por lo que, el enfoque de investigación es cuantitativo, por lo que predominan los valores numéricos medibles.

### **3.2 Variables y operacionalización**

#### Variables

Según Baravesco (2015), las variables son las diferentes condiciones o características, que asumen los objetos en estudio, estas pueden tener una relación de dependencia y sirven para la construcción de la hipótesis de investigación. En la presente investigación, se medirán los efectos de la relación entre las variables propuestas, estas se desglosarán de la siguiente manera:

Variable Independiente (X): La variable independiente será manipulada por el investigador para medir los efectos producidos en la otra variable, por esto Muñoz

et al. (2015) la considera como causa en la relación entre variables. Es así como, la variable independiente de la investigación se divide en: Variable Independiente X1: Tratamiento superficial bicapa y Variable Independiente X2: Pavimento flexible

Variable Dependiente (Y): Según Kopcsó y Pachamánova (2018) la variable dependiente es definida como el efecto provocado por la manipulación de la variable independiente, representando las repercusiones de su antecedente. Por consiguiente, adaptando esta teoría a la investigación, la variable dependiente es la evaluación técnico-económica.

- Definición conceptual

VI (X1) Tratamiento superficial bicapa: Los tratamientos superficiales bicapa se definen como la aplicación uniforme de ligante asfáltico cubierta por una capa de agregados, los cuales varían de tamaño de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto. (Gaertner et. Al, 2019)

VI (X2) Pavimento flexible: El pavimento flexible está compuesto por subbase, base granular y capa de rodadura, esta última soporta las deformaciones directas producidas por el pase vehicular y es constituida por material asfáltico, agregados y, de ser el caso, aditivos. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2008).

VD (Y) Evaluación Técnico- Económica: La evaluación técnico- económica examina la inversión de recursos con indicadores importantes como precio, costos de construcción y eficiencia final, para verificar si se concreta un proyecto factible que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas. (Guzmán, 2020)

- Definición operacional

VI (X1) Tratamiento superficial bicapa: Esta variable será medida considerando los espesores de las capas de la estructura en centímetros y el sistema de mantenimiento anual en soles por kilómetro.

VI (X2) Pavimento flexible: Esta variable será medida considerando los espesores de las capas de la estructura en centímetros y el sistema de mantenimiento quinquenal en soles por kilómetro.

VD (Y) Evaluación Técnico- Económica: VD (Y): Esta variable, respecto a la dimensión técnica será medida considerando el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas, la estabilidad en kilogramos y flujo en milímetros. En relación con la dimensión económica será medida considerando el costo en soles.

- Dimensiones

VI (X1) Tratamiento superficial bicapa: Diseño de tratamiento superficial bicapa

VI (X2) Pavimento flexible: Diseño de pavimento flexible

VD (Y) Evaluación Técnico- Económica: Evaluación técnica y evaluación económica

- Indicadores

VI (X1) Tratamiento superficial bicapa: Espesor de las capas de la estructura (centímetros) y sistema mantenimiento bianual (S/Km)

VI (X2) Pavimento flexible: Espesor de las capas de la estructura (centímetros) y sistema mantenimiento quinquenal (S/Km)

VD (Y) Evaluación técnico- económica: Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041 y MTC E-508. Estabilidad (kg) y flujo (mm) Marshall ASTM D-1559 y MTC E-504.

- Escala de medición

En la investigación se usó la escala de medición de razón para ambas variables, ya que López y Fachelli (2016) sostienen que la escala de medición de razón se utiliza en investigaciones cuantitativas porque mide numéricamente a las variables.

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

#### **Población**

La población es el conjunto de casos que concuerdan con una serie de cualidades equivalentes. Según Namakforoosh (2005) este conjunto es limitado por los objetivos y problemas de investigación.

Criterios de inclusión: La vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, es una carretera que no cuenta con una superficie pavimentada, por lo cual es apta para evaluar cuál sistema de pavimentación es el más conveniente por sus condiciones actuales.

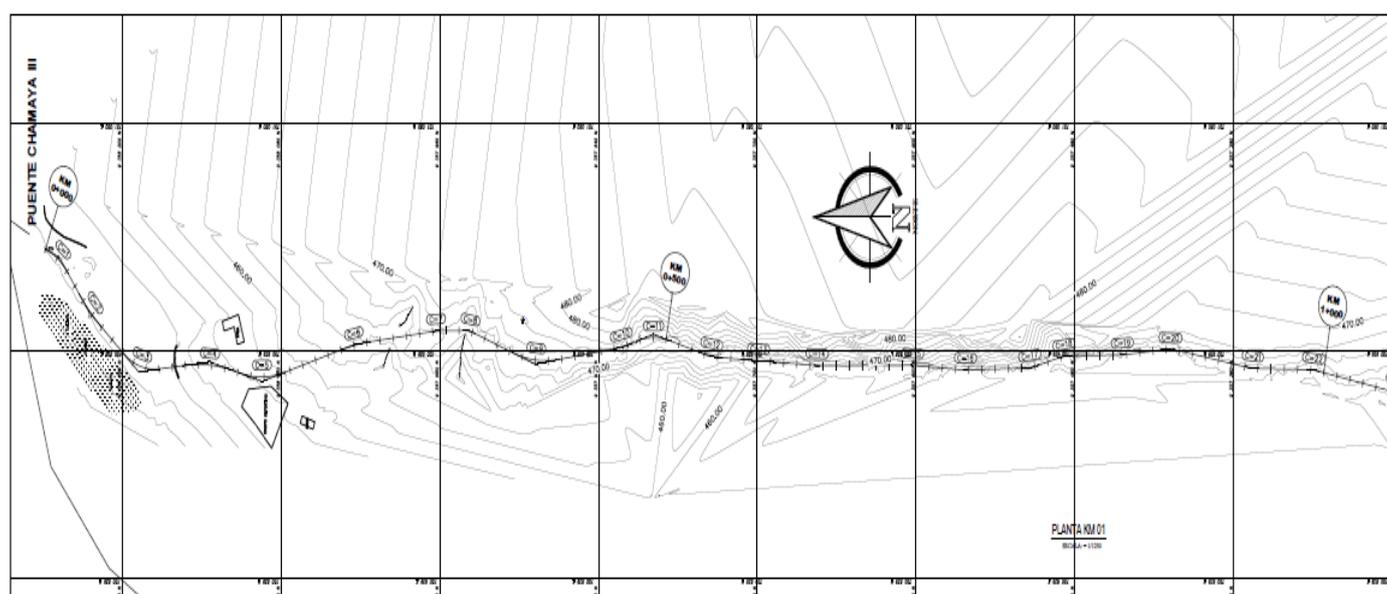
Para esta investigación, el universo de la población está compuesto por los 14.91km de la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, ya que cuenta con características propias de la ubicación y orografía de la zona.

#### **Muestra**

Arias (2012) sostiene que, la muestra es un subconjunto limitado de la población. De acuerdo con lo establecido en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos 2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para un estudio de carretera indica que la muestra puede ser como mínimo un kilómetro y no limita un máximo de longitud. De igual modo, la elección del tramo de investigación dependerá de la decisión independiente del investigador.

En consecuencia, esta investigación se centrará en el primer kilómetro de la vía afirmada en el sentido Puente Chamaya III al distrito de Choros, que comprende el tramo KM0+000 al KM1+000. Esto para asegurar que la muestra será representativa para los sistemas de pavimentación propuestos.

Figura 12: Tramo KM0+000 al KM1+000 en planta



Fuente: Elaboración propia

### Muestreo

El muestreo, según Otzen y Manterola (2017) se categoriza en dos grandes ramas: muestreo probabilístico donde todos los integrantes de la población tienen iguales posibilidades de ser elegidos aleatoriamente, y muestreo no probabilístico en el cual las elecciones de los elementos serán sustentadas por las causas relacionadas a la investigación, por consiguiente, las elecciones de las muestras dependerán únicamente del criterio del investigador.

El muestreo elegido para la investigación es el muestreo no probabilístico intencional.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación se utilizan en el estudio de un fenómeno determinado para examinar, recopilar y exponer información relevante. Respecto a la investigación cuantitativa, se clasifican las siguientes técnicas: Las encuestas que obtienen datos mediante un cuestionario diseñado con el propósito de medir las características de una población usando métodos estadísticos.

El análisis documental que descubre la relación de causa y efecto, obtenida al establecer el período en que ocurre la causa y el efecto sin manipular ningún factor Fremeth, Holburn y Richter (2016) sostienen que la observación experimental se caracteriza porque evalúa el efecto de la manipulación de variables y en base a los resultados del experimento se guía para aprobar o refutar la hipótesis de investigación. Por último, la entrevista consiste en una conversación entre investigador y entrevistado con conocimientos previos del tema de investigación.

De acuerdo, a las técnicas expuestas por el autor, para esta investigación se aplicará la técnica de observación experimental para obtener información que verifique la hipótesis general del estudio en base a los resultados recopilados del laboratorio en los ensayos.

#### Los instrumentos de recolección de datos

Hernández (2014) sostiene que para la investigación cuantitativa el instrumento es el recurso que utiliza el investigador para registrar información y valorar los indicadores propuestos. Estos deben reunir tres requisitos esenciales que son la confiabilidad, validez y objetividad.

El instrumento para esta investigación será mecánico, por el sistema de medición por aparatos para los ensayos, y los datos obtenidos se registrarán en fichas de carácter técnico.

Tabla N°1: Fichas técnicas

<b>Ficha técnica N°1</b>	Recolección de datos peso específico teórico máximo (Anexo 3)
<b>Ficha técnica N°2</b>	Recolección de datos estabilidad y flujo Marshall (Anexo 4)

Fuente: Elaboración propia

La validez es la magnitud en que el instrumento efectivamente mide las variables, se clasifica en: validez de contenido sí refleja el nivel en que la instrumental de la investigación domina un tema en específico directamente relacionado al concepto. La validez de criterio compara los productos obtenidos del instrumento con un criterio de investigación con indicadores homólogos.

Puente (2018) sostiene que, también existe la validez de expertos o face validity que se define como el grado en que un instrumento mide la variable en cuestión de acuerdo con expertos calificados en el tema de investigación.

Para esta investigación, se aplicará la validez de expertos conocida también como juicio de expertos para verificar la conformidad de que los instrumentos aplicados recolectarán los datos necesarios para sustentar los objetivos e hipótesis de los indicadores propuestos.

Tabla N°2: Validez

<b>Rangos</b>	<b>Magnitud</b>
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Valida
0.66 a 0.71	Muy valida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.00	Validez perfecta

Fuente: Hernández, Fernández, Y Baptista, 2014.

Según Riezler y Hagmann (2022) la confiabilidad es la magnitud en que un instrumento produce resultados congruentes. Para la presente investigación, la

confiabilidad se verificará con la correcta certificación de calibración de equipos y máquinas implementados en los ensayos, para confirmar que los resultados obtenidos serán lo más verídicos posibles.

### **3.5 Procedimientos**

#### ETAPA 1: Delimitación de la zona de estudio

La investigación se centró del KM0+000 al KM1+000 de la vía afirmada en sentido Puente Chamaya III al distrito de Choros. Por esto, a nivel de exploración del suelo este primer kilómetro de carretera será representativo de los kilómetros restantes, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos 2014, para asegurar que las características orográficas sean representativas de la longitud total de la carretera.

#### ETAPA 2: Trabajo de campo

Se recopiló el material para evaluar las condiciones orográficas de zona. En este caso, se clasificó la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III como una carretera de Tercera Clase por sus características.

De acuerdo con la clasificación en el anexo 6 de la carretera, se realizaron 2 calicatas por kilómetro de carretera con una profundidad de 1.50m de manera alternada (izquierda-derecha) a 5 metros del eje de la vía, es decir de preferencia a los costados de la calzada, para obtener los resultados del estudio del suelo de fundación como nivel freático y granulometría (norma MTC E 204). Mientras que, para la muestra de CBR de la subrasante del área de pavimentación solo se ejecutará un ensayo CBR por el kilómetro de estudio, según lo normado en el anexo 7.

#### ETAPA 3: Diseño de los sistemas de pavimentación

La premisa de la investigación es evaluar los sistemas de pavimentación de tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para esto se realizó el diseño de ambos en el área de estudio considerando las propiedades físicas y orográficas de la zona.

Cada sistema de pavimentación se basó en las siguientes normativas de diseño:

- Diseño tratamiento superficial bicapa: Manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito 2008.
- Diseño pavimento flexible: Metodología AASHTO 93 como guía referencial de los trabajos aplicables a carreteras, pero con bajo volumen de tránsito

#### ETAPA 4: Adquisición de materiales para briquetas

Para desarrollar esta etapa se consideraron los materiales para la elaboración de 4 briquetas de cada sistema de pavimentación, de la siguiente manera:

- Briquetas tratamiento superficial bicapa: Las cantidades del agregado y emulsión asfáltica se dosificarán de acuerdo con las dimensiones requeridas para la elaboración de las briquetas normadas por la norma ASTM D-1559.
- Briquetas pavimento flexible: Las cantidades del agregado fino, agregado grueso y cemento asfáltico se dosificarán de acuerdo con las dimensiones requeridas para la elaboración de las briquetas normadas por la norma ASTM D-1559.

Se proporcionaron las dosificaciones de los materiales, debido a que según norma ASTM D-1559 cada briketa tiene una dimensión 2 ½" de espesor y 4" de diámetro.

#### ETAPA 5: Elaboración, compactación y curado de briquetas

Elaboración de briquetas: Para el análisis de tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible se efectuaron briquetas con los diseños explicados en el marco teórico de cada sistema, respectivamente. Para esto, según la norma ASTM D-1559 se deben ensayar como mínimo 2 y máximo 5 briquetas para cada sistema de pavimentación.

Por lo que, finalmente la muestra total estuvo constituida por 4 especímenes de cada sistema, distribuidos de la siguiente manera:

- 4 briquetas de tratamiento superficial bicapa y
- 4 briquetas de pavimento flexible.

Elaborándose un total de 8 especímenes para los ensayos.

Compactación de briquetas: Se compactaron con 75 golpes del martillo de compactación en menos de 90 segundos. Posteriormente, se desensambla la briqueta para invertir su posición inicial. En esta nueva posición, se repitieron la cantidad de golpes en el mismo tiempo. Finalmente, se sacó de su base para dejar enfriar.

Curado de briquetas: Se sumerge mínimo en 15cm de profundidad en una temperatura controlada de  $60 \pm 1$  °, esto se regula con un termómetro centrado y fijo.

#### ETAPA 6: Ejecución de ensayos

Para la evaluación técnica las briquetas fueron expuestas a los ensayos de la siguiente manera para cada alternativa de pavimentación:

- 4 briquetas para determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041, o MTC E-508.
- 4 briquetas para determinar la estabilidad y flujo Marshall mediante el ensayo ASTM D-1559, o MTC E-504.

#### ETAPA 7: Recolección de datos

Concluida la etapa de ejecución de ensayos, los datos obtenidos se recopilaban en las fichas técnicas de registro de datos para proceder con la etapa de evaluación e interpretación de los resultados.

#### ETAPA 8: Evaluación e interpretación

Se evaluó en base a la información recopilada de los ensayos que caracterizaron los sistemas de pavimentación, y se interpretaron de acuerdo con los indicadores de evaluación técnica y económica, para verificar si la hipótesis tratamiento superficial bicapa es factible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca 2022, es aprobada o refutada.

#### ETAPA 9: Discusión

En la discusión se expondrán los resultados de laboratorio obtenidos para cada sistema de pavimentación, ya que permiten cuantificar los recursos utilizados para compararlos con los resultados encontrados en las investigaciones consideradas antecedentes de la tesis.

#### ETAPA 10: Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones expondrán las comparaciones que se realizarán entre los sistemas de pavimentación, ya que al ejecutar los ensayos se simula en menor escala el sistema de colocación de los materiales y el costo que representarán, así como las consideraciones que se tendrán en cada caso para asegurar el mejor desempeño de la vía pavimentada independientemente del sistema que resulte más factible en la investigación.

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

En la actualidad, el análisis cuantitativo se basa en la información recopilada de los instrumentos, para proceder con este análisis el investigador usará la estadística que mejor relacione los resultados.

Bologna (2018) clasifica la estadística en: estadística descriptiva sí presenta organizadamente los datos numéricos obtenidos en un análisis resumido. Estadística inferencial sí obtiene generalizaciones en base a una información parcial. Y, estadística aplicada sí permite realizar inferencias de varias muestras de la población de estudio por lo que ofrece resultados generalizados.

Por lo tanto, de las definiciones detalladas en esta investigación se aplicará la estadística descriptiva para evaluar la relación de las variables en consecuencia a los resultados obtenidos de las variables propuestas.

### **3.7 Aspectos éticos**

En el ámbito normativo de la ley, la Universidad César Vallejo regula todos los proyectos de investigación con el Programa Turnitin para proteger la propiedad

intelectual. En consecuencia, el presente proyecto de investigación fue analizado previamente para respaldar la integridad académica.

Igualmente, se respetó la originalidad de los autores de las referencias que se tomaron en cuenta para la investigación, rigiéndose bajo la norma ISO 690 para citar sus publicaciones.

#### IV. RESULTADOS

A nivel de exploración del suelo, el primer kilómetro de carretera con progresivas KM0+000 al KM1+000 en el sentido de Puente Chamaya III hacia el distrito de Choros, es representativo de los kilómetros restantes.

De acuerdo con la clasificación carretera de tercera clase, las 2 calicatas de estudio por kilómetro de carretera se alternaron y ubicaron de la siguiente manera:

Tabla N°3: Ubicación calicatas de estudio

	Progresiva	Lado	Coordenadas UTM- Zona 17 Sur	
<b>C-01</b>	0+020	Derecho	731116.5 E	9259607 N
<b>C-02</b>	0+780	Izquierdo	731290.9 E	9259540 N

Fuente: Elaboración propia

Con las muestras obtenidas se conformó el perfil estratigráfico de cada calicata con profundidad máxima de 1.50m, como se evidencia en los anexos 7 y 8 respectivamente, resultando el perfil estratigráfico:

Tabla N°4: Perfil estratigráfico de las calicatas

Calicata N°	Descripción
C-01 0+020 LADO DERECHO	<p><b>Cota 0.00 a 1.00m:</b> Perfil conformado por arcillas limosas de plasticidad mediana, color beige.</p> <p><b>Cota 1.00 a 1.50m:</b> Perfil conformado por limos y arenas muy finas y arcillas de baja plasticidad.</p>
C-02 0+780 LADO Izquierdo	<p><b>Cota 0.00 a 0.80m:</b> Perfil conformado por arcillas limosas de plasticidad mediana, color beige.</p> <p><b>Cota 0.80 a 1.50m:</b> Perfil conformado por limos y arenas muy finas y arcillas de baja plasticidad.</p>

Fuente: Elaboración propia

Se concluyó que ambas calicatas presentan similitudes estratigráficas en sus niveles y que hasta el fondo de 1.50m no se visualizó rastros de capa freática.

Según norma ASTM D 4318, o MTC E 111 y, se ejecutó el análisis para obtener los datos de los anexos 9 y 10, para los límites e índice de plasticidad:

Tabla N°5: Resultados análisis granulométrico

	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)	Clasificación SUCS
<b>C-01 (0+020)</b>	21.25%	15.43%	5.82%	Arcilla limosa CL-ML
<b>C-02 (0+780)</b>	20.45%	15.32%	5.13%	Arcilla limosa CL-ML

Fuente: Elaboración propia

En relación con, el límite líquido se tuvo una diferencia de 0.8%, el límite plástico fue superior en 0.11%, y el índice de plasticidad es mayor en 0.69%, en comparación entre la primera y segunda calicata de estudio. De estas comparaciones se apreció que no existe una diferencia notable entre ambas calicatas, debido a que sus resultados no difieren a grandes rasgos. Por lo cual, se infirió que en la extensión del kilómetro de estudio las propiedades del terreno son muy similares.

Tabla N°6: Clasificación Índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Característica
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exceptos de arcilla

Fuente: Norma ASTM D 4318

De acuerdo con la clasificación anterior, ambos valores del índice de plasticidad se encuentran entre los valores  $4 < IP < 10$ , por lo que fueron etiquetados como suelos pocos arcillosos.

Simultáneamente, del ensayo de relación de soporte de California se obtuvo el CBR de la primera calicata (anexo 12) siendo los datos más resaltantes:

Tabla N°7: Resultados California Bearing Ratio

Humedad Óptima %	Máx. Dens. 100%	Máx. Dens. 95%	CBR 100%	CBR 95%
17.35	1.79 Gr/cc	1.70 Gr/cc	7.00	4.85

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de soporte obtenida junto con las condiciones de tránsito y características de los materiales de la superficie de rodadura, forman las variables esenciales para el diseño de la estructura del pavimento.

Puesto que, se obtuvo CBR de 7.00 así como la carretera es considerada de bajo volumen de tránsito se le clasifica como subrasante regular (anexo 13).

A continuación, con la información recopilada de los suelos se procedió con el diseño de los sistemas de pavimentación propuestos, en base a la normativa vigente correspondiente para cada caso:

Para el diseño del tratamiento superficial bicapa se respetaron los parámetros establecidos en el Manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, 2008. Por esto, de acuerdo con los resultados expuestos en la tabla N°7, el CBR 100% cumple con valor 7.00, por lo cual según la regulación del manual (anexo 14) se caracterizaron los siguientes espesores:

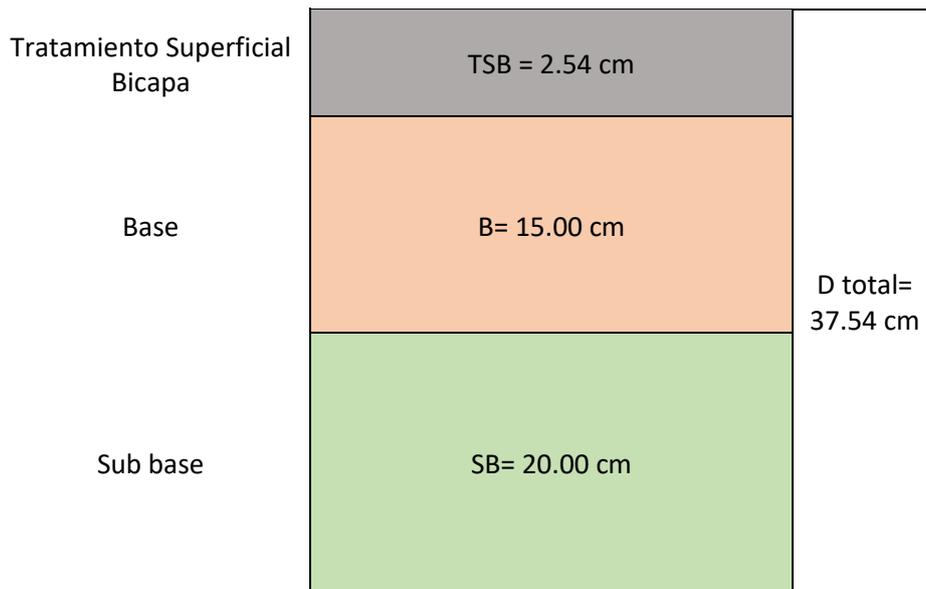
Tabla N°8: Espesores tratamiento superficial bicapa

ESTRUCTURA	ESPESOR
Tratamiento Superficial Bicapa	2.54cm
Base	15.00cm
Subbase	20.00cm

Fuente: Manual para carreteras de bajo volumen de tránsito, 2008.

En total, considerando los espesores de cada capa, la estructura final del tratamiento superficial bicapa tendría un espesor total de 37.54cm. De esto, se debe considerar que el espesor del tratamiento en sí sumará entre ambas capas 2.54cm (1”), no de manera independiente, así como se detalla en la figura 13:

Figura 13: Estructura tratamiento superficial bicapa



Fuente: Elaboración propia

Respecto al diseño del pavimento flexible normado por la Metodología AASHTO 93, la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III fue categorizada como carretera de tercera clase por tener un IMDA de 393veh/día.

Se consideró tiempo de diseño de 10 años, con factor de crecimiento de 3.10% en vehículos pesados y 1.4% en vehículos livianos, para el cálculo de carga por eje individual equivalente (ESAL):

Tabla N°9: Cálculo de ESAL

Tipo vehículo	IMD	IMDA	Fcarril	Fsent	Frec. 3.1-1.4%	Fcamión	ESAL
Bus B2	42.00	15330.00	1.00	1.00	18.74	3.69597	1061793.78
Automóvil	64.00	23360.00	1.00	1.00	16.56	0.00058	224.37
Camioneta	86.00	31390.00	1.00	1.00	16.56	0.02509	13042.24
Camión C2	89.00	32485.00	1.00	1.00	18.74	3.69597	2249991.59
Camión C3	112.00	40880.00	1.00	1.00	18.74	2.56040	1961499.91
	393.00						<b>5286551.90</b>

Fuente: Municipalidad distrital de choros, 2020.

De igual forma, se consideró el CBR de la subrasante junto con el conteo vehicular para determinar el número estructural 2.59 (anexo 15).

De la misma manera, se calculó el módulo resiliente de la subrasante de acuerdo con el CBR (anexo 16), obteniendo de la multiplicación 15 000 PSI.

Igualmente, los módulos resilientes correspondientes a la carpeta asfáltica, subbase y base granular, se estimaron de acuerdo con los ábacos expuestos en los anexos 16, 17 y 18. Estas gráficas, se relacionaron para obtener:

Tabla N°10: Datos de la estructura del pavimento

Estructura	Módulo resiliente (Mr)	Coficiente de capas	Coficiente drenaje
<b>Carpeta Asfáltica</b>	EAL = 400 000	a1= 0.170	m1=1.00
<b>Base Granular</b>	EBS= 27 000 PSI	a2= 0.052	m2=1.00
<b>Sub-Base Granular</b>	EBS= 17 500 PSI	a3= 0.047	m3=1.00
<b>Subrasante</b>	EBS= 15 000 PSI		

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se tabularon los datos complementarios para el diseño de pavimento flexible:

Tabla N°11: Datos diseño de pavimento

<b>Confiabilidad (R)</b>	70%
<b>Desviación estándar normal (ZR)</b>	-0.524
<b>Desviación Estándar Total (So)</b>	0.45
<b>Serviciabilidad inicial (PSI<sub>o</sub>)</b>	4.00
<b>Serviciabilidad final (PSI<sub>t</sub>)</b>	1.50
<b>Pérdida de Servicios (ΔPSI)</b>	2.50

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la metodología AASTHO 93, se calculó el Número Estructural (NE) =2.59 y según fórmula  $NE = a_1 \cdot m_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3$ , junto con la corrección de  $SN/a = D$ , de cada capa:

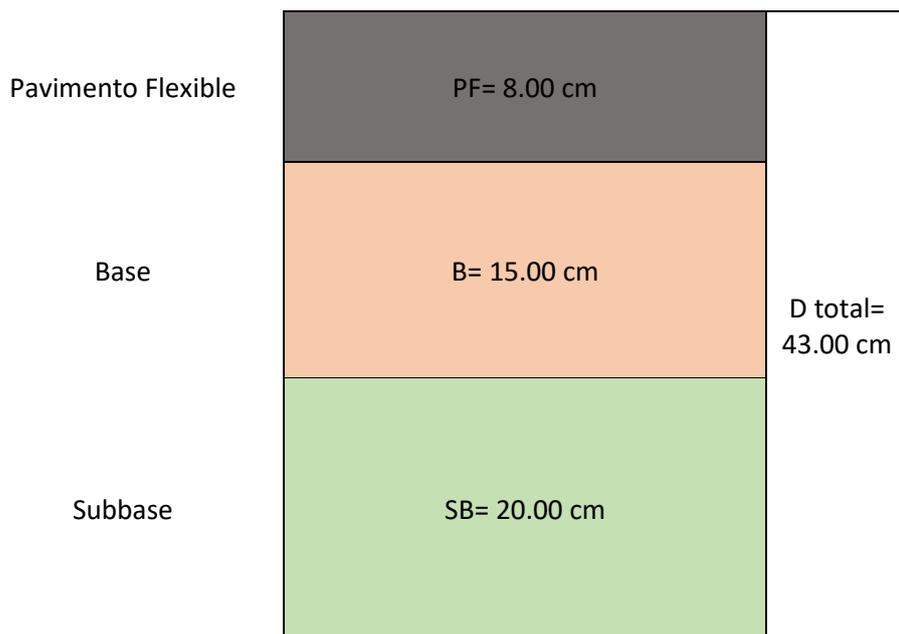
Tabla N°12: Espesores del pavimento flexible

<b>Estructura</b>	<b>SN calculado</b>	<b>Espesor calculado</b>	<b>Espesor real</b>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	1.36	D1= 8.00cm	D1= 8.00cm
<b>Base Granular</b>	0.78	D2= 15.00cm	D2= 15.00cm
<b>Sub-Base Granular</b>	0.47	D3= 10.00cm	D3= 20.00cm

Fuente: Elaboración propia

Para satisfacer el número estructural la subbase granular se valoró con 10cm, pero según el catálogo de espesores de la estructura del pavimento flexible (anexo 20) esta capa debe tener un mínimo de 20cm. De igual manera, para la base granular se estimó con 15cm, cumpliendo con el requerimiento mínimo de la normativa. Para la carpeta asfáltica, sí cumple que el espesor es mayor a 7.5cm, por lo que no fue necesario corregir el espesor calculado.

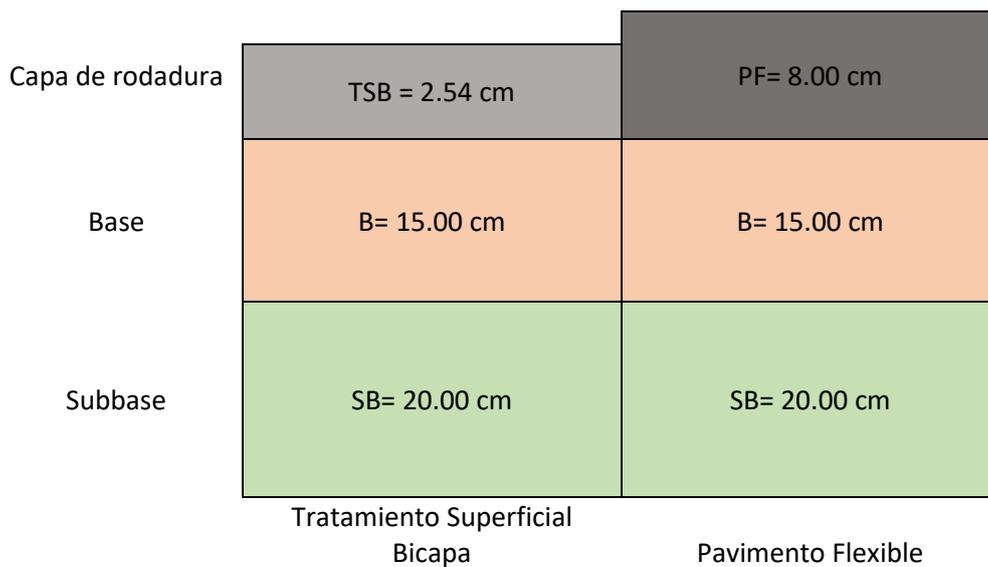
Figura 14: Estructura pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Por ende, la estructura del pavimento flexible requeriría un espesor total de 43cm, siendo casi igual al propuesto en tratamiento superficial doble de 37.54cm, con el cual tiene su principal diferencia en el espesor de la capa de rodadura pues en el primer caso, requiere de 2.54cm mientras que para la pavimentación flexible es de 8cm, siendo más del triple.

Figura 15: Estructuras de pavimentación



Fuente: Elaboración propia

De tal forma, el espesor de las capas es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

A continuación, se promediaron los resultados de los ensayos de peso específico teórico máximo (anexo 21):

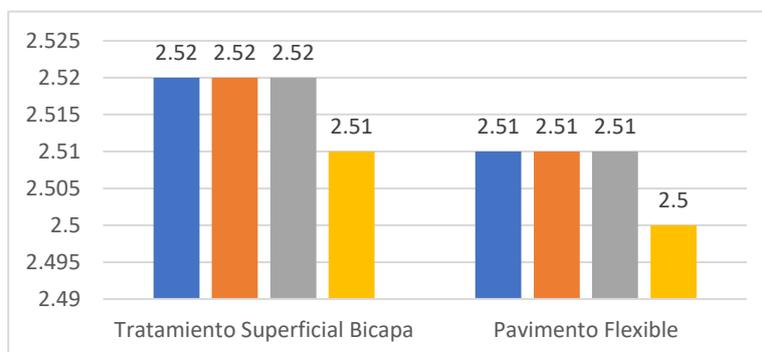
Tabla N°13: Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas

<b>N° Briqueta</b>	T1	T2	T3	T4
<b>Tipo de Mezcla</b>	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
<b>Peso Específico Teórico Máximo</b>	2.52	2.52	2.52	2.51
<b>Promedio</b>	2.52			
<b>N° Briqueta</b>	P1	P2	P3	P4
<b>Tipo de Mezcla</b>	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
<b>Peso Específico Teórico Máximo</b>	2.51	2.51	2.51	2.50
<b>Promedio</b>	2.51			

Fuente: Elaboración propia

Se observó que los promedios del total de briquetas de cada opción de pavimentación difieren en lo mínimo. Por esto, los resultados fueron admisibles para ambos casos, pero no deben ser comparados como un indicador determinante.

Figura 16: Ensayos de peso específico teórico máximo



Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Seguidamente, se promediaron las estabilidades obtenidas de cada tipo de mezcla del ensayo Marshall (anexo 22 y 23):

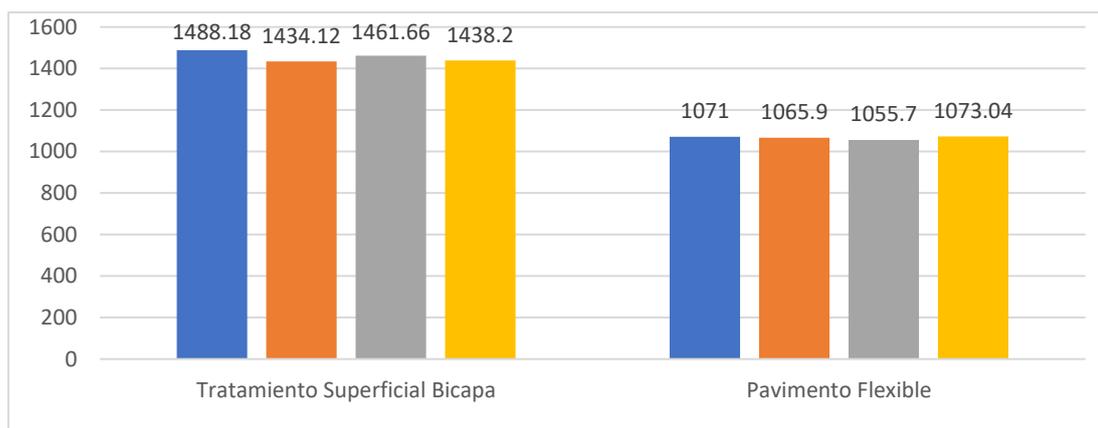
Tabla N°14: Estabilidad de las mezclas

<b>N° Briqueta</b>	T1	T2	T3	T4
<b>Tipo de Mezcla</b>	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
<b>Estabilidad (kgs)</b>	1488.18	1434.12	1461.66	1438.20
<b>Promedio</b>	1455.54			
<b>N° Briqueta</b>	P1	P2	P3	P4
<b>Tipo de Mezcla</b>	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
<b>Estabilidad (kgs)</b>	1071.00	1065.90	1055.70	1073.04
<b>Promedio</b>	1066.41			

Fuente: Elaboración propia

El promedio de las estabilidades de cada mezcla demostró una notable diferencia entre ambas. Puesto que, la estabilidad promedio de la emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida es superior a la mezcla de asfalto en caliente por 389.13 kilogramos.

Figura 17: Ensayos de estabilidad



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera de los anexos mencionados, se promediaron los resultados del flujo de cada mezcla para valorar los esfuerzos que soportan hasta la deformación.

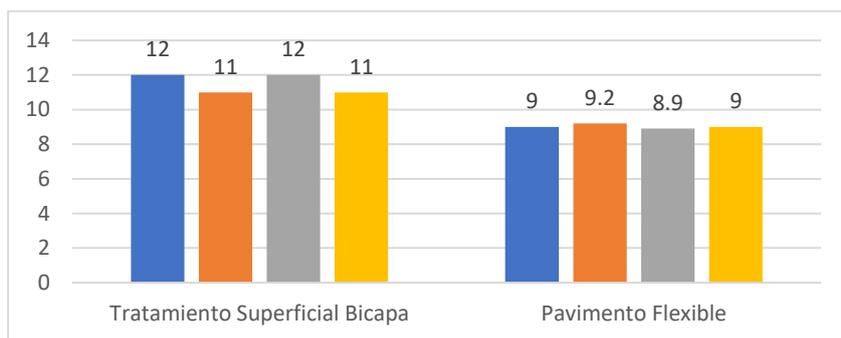
Tabla N°15: Flujo de las mezclas

<b>N° Briqueta</b>	T1	T2	T3	T4
<b>Tipo de Mezcla</b>	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
<b>Flujo 0.01"</b>	12.00	11.00	12.00	11.00
<b>Promedio</b>	11.50			
<b>N° Briqueta</b>	P1	P2	P3	P4
<b>Tipo de Mezcla</b>	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
<b>Flujo 0.01"</b>	9.00	9.20	8.90	9.00
<b>Promedio</b>	9.03			

Fuente: Elaboración propia

Es así que, respecto al flujo alcanzado se obtuvo que se presenta una mayor deformación en las briquetas de emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida con promedio 11.50, en comparación a las briquetas de mezcla de asfalto en caliente con promedio 9.03, lo que indicaría que el tratamiento superficial bicapa se deforma en mayor medida que el pavimento flexible.

Figura 18: Ensayos de flujo



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, la estabilidad y flujo Marshall son factibles para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Por último, el índice de rigidez se estimó en base a los resultados obtenidos del ensayo Marshall:

Tabla N°16: Índice de rigidez de las mezclas

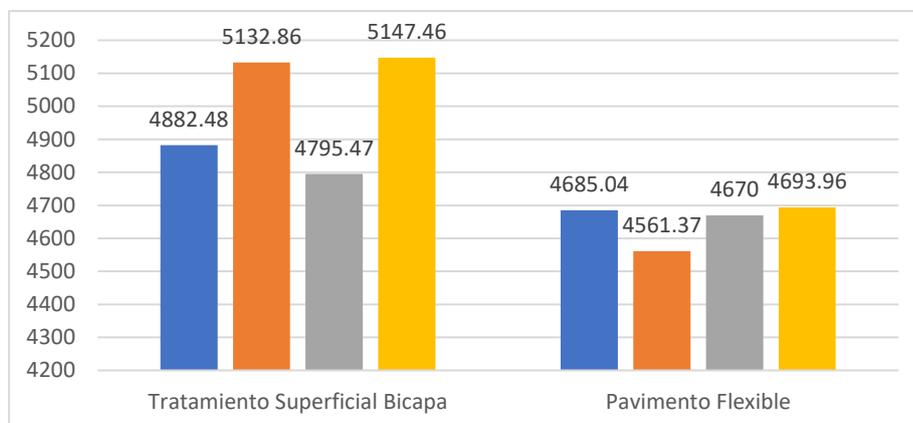
<b>N° Briqueta</b>	T1	T2	T3	T4
<b>Tipo de Mezcla</b>	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
<b>Índice de rigidez</b>	4882.48	5132.86	4795.47	5147.46
<b>Promedio</b>	4989.57			
<b>N° Briqueta</b>	P1	P2	P3	P4
<b>Tipo de Mezcla</b>	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
<b>Índice de rigidez</b>	4685.04	4561.37	4670.00	4693.96
<b>Promedio</b>	4652.60			

Fuente: Elaboración propia

De estos promedios, resultó que la mezcla de emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida presenta 4989.57 kg/cm de índice de rigidez, a diferencia de la mezcla de asfalto en caliente que obtuvo 4652.60 kg/cm.

Por lo cual, es tratamiento superficial bicapa presentaría 336.97 kg/cm más índice de rigidez que el pavimento flexible.

Figura 19: Ensayos del índice de rigidez



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta un estimado de los costos de mantenimiento básicos. En el caso de tratamiento superficial bicapa, se estima trabajos bianuales en las zonas críticas afectadas, con un costo aproximado de 892,296.53soles. Mientras que, para pavimento flexible se considera el mantenimiento cada 5 años, con un valor aproximado de 25,290.17soles.

En base, a esto se valora la inversión que representa cada sistema de pavimentación acorde con el período de diseño por el primer kilómetro de la carretera, requiriéndose las acciones de conservación 5 veces para tratamiento superficial bicapa, y solo 2 veces para pavimento flexible.

Tabla N°17: Costo Mantenimiento

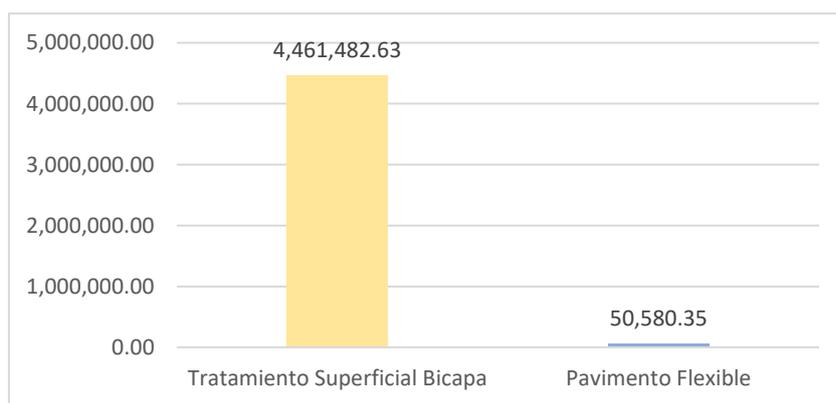
Mantenimiento	Período Diseño 10 años
Tratamiento superficial bicapa	4,461,482.63 soles
Pavimento flexible	50,580.35 soles

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, el sistema de mantenimiento bianual del tratamiento superficial bicapa no es factible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Para el mantenimiento del tratamiento superficial bicapa se realizan las obras de conservación con mayor frecuencia, pero solo en sus áreas críticas y no al total de extensión de su vía. En cambio, el pavimento flexible representa una menor inversión en mantenimiento, ya que se realiza con menor frecuencia pero que agrava el flujo de transitabilidad, debido a que no se puede sectorizar fácilmente sus daños superficiales como para ser reparados por partes.

Figura 20: Costos mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

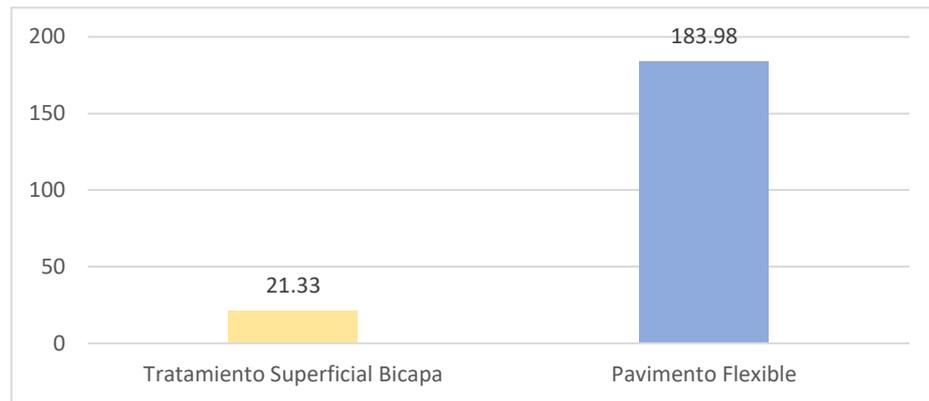
De modo que, el costo de mantenimiento no es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Por último, se realizó el análisis de los costos de las partidas básicas para cada sistema de pavimentación (anexos 24 y 25).

En la estimación de costos de cada alternativa de pavimentación, se concluyó que el tratamiento superficial bicapa representa una inversión de S/ 21.33 por m<sup>2</sup> con espesor constante de 1”.

En cambio, el pavimento flexible representa un costo de S/ 183.98 m<sup>3</sup>, del cual su mayor valorización es la preparación de la mezcla porque se debe calentar in situ para cumplir con la temperatura requerida; y en la diferencia de espesores en la carpeta de rodadura.

Figura 21: Costos de construcción



Fuente: Elaboración propia

Por lo que, el costo de construcción es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Por último, los resultados permitieron afirmar o rechazar las hipótesis de los indicadores de las variables propuestas. Aunque en su mayoría fueron favorables para el tratamiento superficial bicapa, los únicos indicadores que no lo favorecieron fueron los relacionados al mantenimiento anual, ya que en período y costo representa una mayor inversión que el pavimento flexible.

Sin embargo, por presentar resultados en su casi totalidad beneficiosos, que la hipótesis general, la evaluación técnico-económica es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022, fue aprobada.

## V. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se aceptó la hipótesis general que planteaba que la evaluación técnico-económica es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

Debido a que, los resultados guardan relación con lo expuesto a los diseños de pavimentación, Briceño y Tello (2019) para una carretera de tercera clase con densidad seca máxima 1.77 gr/cm<sup>3</sup>, humedad óptima 9.30% y CBR 10.40%, propusieron distintos espesores de diseño para cada capa del pavimento flexible: 3" capa de rodadura, 6" base granular y 4" subbase granular. Estos espesores propuestos por los autores, en comparación con los diseñados en la presente investigación no se encuentran dentro de los valores normados por el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (2008), ya que para la subbase granular señala que debería contar con un espesor de 20cm (8") mínimo por su clasificación, es decir el doble de las 4" diseñadas por los autores referenciados. Por consiguiente, con la corrección mencionada, el espesor total de la estructura del pavimento flexible estuvo constituida por 43.00cm, en contraste con la dimensión final del tratamiento superficial bicapa de 37.50cm. La principal diferencia de medidas corresponde al espesor designado en la carpeta de rodadura de cada alternativa de pavimentación.

Por esta razón, se relacionó que la estructura del pavimento flexible representa una mayor inversión de recursos por requerir de un mínimo de 7.50cm en la capa de rodadura, en comparación con el tratamiento superficial bicapa que a ese mismo nivel requiere de 2.54cm, lo que supone casi la tercera parte en esa capa.

En relación con los períodos de mantenimiento, Mancha (2016) afirmó que, para una carretera pavimentada de tercera clase, el mantenimiento con slurry seal se realizaría con una frecuencia de 5 años con emulsión asfáltica de rotura lenta para un espesor 0.10m resultando un costo de 145,469.25 soles por kilómetro. Es decir, que el costo de mantenimiento de un pavimento puede considerarse elevado inicialmente, pero al ser aplicado periódicamente solo cada 5 años, representa una

inversión final menor. De igual manera, dependiendo del tipo de material que se utilizará para el mejoramiento, como en este caso, la emulsión asfáltica de rotura lenta no supone un peligro para su colocación por no contener material volátil. Por ende, respecto al mantenimiento periódico el autor referido asocia el tratamiento superficial bicapa con una mayor inversión en su conservación por aplicarse anualmente, a comparación del pavimento flexible que lo requiere quinquenalmente.

Esto se asociaría con que, para la pavimentación con período de diseño de 10 años, el tratamiento superficial bicapa para su conservación requeriría en total 5 aplicaciones. Mientras que, para el pavimento flexible se precisaría solo 2 aplicaciones, siendo más favorable económicamente por suponer menor número de repeticiones en su conservación final.

Asimismo, Álvarez (2017) señaló que, para el diseño con tratamiento superficial, el material más conveniente a aplicar fue la emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida producida localmente porque este material presentaba mejor adherencia con los agregados pétreos, y por ende logró cumplir con los requerimientos para tratamiento superficial de la norma ISSA internacional. Dado que, resultaba una mezcla consistente y homogénea, aplicable por las propiedades de la emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida a una temperatura de preparación promedio de 70°C máximo, este mismo producto estable posibilitaba la próxima abertura al tráfico vehicular de la vía pavimentada en un intervalo de 3 horas posteriores a su aplicación, bajo una disposición ambiental favorable con temperaturas secas mayores a 10° C. Por lo cual, conforme al autor referenciado favorece al sistema de tratamiento superficial bicapa por la implementación de sus materiales, ya que su correcta combinación garantiza una mezcla óptima con las propiedades básicas de adherencia entre materiales, sin la necesidad de incluir aditivos. A diferencia del pavimento flexible, que según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) requiere para su aplicación, que la mezcla asfáltica se encuentre como mínimo a una temperatura promedio de 160°C.

Por lo que, en comparación entre ambos tipos de pavimentación resalta la diferencia de temperaturas a las cuales debe ser preparada la mezcla asfáltica base para mezclarse con uniformidad, y que técnicamente representa una dificultad adicional para su colocación en obra. En consecuencia, la emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida usada en el tratamiento superficial bicapa es más fácil de aplicar en obra, que la mezcla asfáltica en caliente del pavimento flexible.

En lo que respecta a los valores de estabilidad y flujo Marshall, los autores Ariza, Sánchez y Carreño (2022) evaluaron las propiedades volumétricas de acuerdo con la resistencia de la mezcla en vías de poco tránsito, con lo que obtuvieron valores estándares de mezcla convencional como estabilidad 17.50 Kn, flujo 3.5mm e índice de rigidez 5.3Kn/mm, que en comparación con los resultados alcanzados de la presente investigación respecto al tratamiento superficial bicapa logró estabilidad 14.55Kn, flujo 11.50mm e índice de rigidez 1.27Kn/mm, y para el pavimento flexible estabilidad 10.66Kn, flujo 9.03mm e índice de rigidez 1.18Kn/mm. Con dichas cifras, se determinó que los resultados más aproximados a la investigación de los autores citados fueron los correspondientes a la mezcla del tratamiento superficial bicapa. A causa de que, en relación con la estabilidad se evidenció un mayor valor en la mezcla de tratamiento superficial bicapa. De igual manera, el flujo promedio obtenido en la prueba de laboratorio fue superior para el tipo de mezcla del tratamiento superficial bicapa, en vista de que soportó mayor esfuerzo hasta producirse la deformación final de la briqueta en el ensayo.

Por lo tanto, se infirió que ambos valores tanto de estabilidad y flujo Marshall, fueron superiores para la mezcla de tratamiento superficial bicapa, de modo que esta opción representaría la mejor en el ámbito técnico, en comparación con los valores menores de la mezcla de pavimento flexible.

Referente al costo de mantenimiento, Caparachin (2018) señaló que el valor del mantenimiento anual para una vía rural promedio ascendía a 4,200 soles por kilómetro anualmente solo en aplicación en los puntos críticos del área total de la carretera. Pero que, esta técnica de mejoramiento puntual de zonas dañadas es más factible de aplicar en tratamiento superficial porque se ejecuta en pequeños sectores afectados visiblemente, a diferencia del pavimento flexible que requiere

una evaluación más especializada por la exposición tanto de su estructura superficial como interna, para la priorización de tramos afectados. Sin embargo, los costos finales de mantenimiento tendrán relación directa con el número de veces que se requerirán aplicar para cumplir con los años del período de diseño.

Con relación al costo de ejecución, se compararon las partidas básicas de cada sistema de pavimentación, de lo cual se obtuvo que el pavimento flexible suponía una mayor inversión respecto al elevado costo de preparación de la mezcla relacionado a la temperatura de colocación, a diferencia del costo de tratamiento superficial bicapa.

Finalmente, analizar los indicadores de las variables propuestas en comparación con los resultados de investigaciones anteriores, sirvió como sustento para que los productos de la presente investigación puedan ser verificados de encontrarse entre valores normales y poder evaluar el origen de las diferencias cuando se presenta un resultado inusual.

La principal ventaja de la metodología empleada es que permite obtener resultados medibles que pueden ser comparados fácilmente para discernir con criterio técnico sí suponen un indicador positivo o negativo, para el objetivo de estudio. Sin embargo, es imprescindible contar con conocimientos básicos del tema a investigar, ya que al revisar más material bibliográfico se pueden encontrar términos o técnicas que son de uso general para personas capacitadas, pero que pueden ser confusos para personal que no es del rubro. Asimismo, como investigadores debería ser requisito consultar con técnicos del mismo entorno para apoyar a seguir con la investigación, e incluso adicionar más información relevante.

De la misma manera, esto permite a los investigadores mantenerse actualizados, y poder aportar en este caso, las principales diferencias y aspectos a considerar tanto técnicos como económicos de los sistemas de pavimentación propuestos para la vía afirmada de investigación, lo cual puede servir próximamente para otros investigadores que estudien proyectos con características similares a la zona descrita.

## VI. CONCLUSIONES

6.1 Se determinó que la evaluación técnico-económica es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022, debido a que los resultados obtenidos permitieron medir los indicadores que comprobaron favorecer a este sistema de pavimentación como la mejor alternativa para la vía afirmada de estudio.

6.2 Se determinó que el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas presentó valores similares (Tabla 13), por lo que el valor promedio de 2.52 se considera como valor admisible, pero no se desempeña como un indicador que permita diferenciar que tipo de pavimentación es mejor.

6.3 Se determinó que la estabilidad promedio (Tabla 14) fue mayor en 389.13 kilogramos para la mezcla de tratamiento superficial bicapa, por lo que se concluye que llega a soportar más que la mezcla de pavimento flexible. Por lo que, la estabilidad es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

6.4 Se determinó que el flujo Marshall promedio (Tabla 15), para la mezcla de tratamiento superficial bicapa presentó 11.50mm de fluencia, teniendo mayor resistencia a la deformación, en comparación de 9.03mm promedio del pavimento flexible. Es decir, el flujo es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

6.5 Se determinó que el costo de construcción es mayor para el pavimento flexible (Figura 21), pero que, al cumplir ambos sistemas con valores técnicos similares, es posible discernir en que el tratamiento superficial bicapa es mejor por representar un costo de construcción menor. En consecuencia, el costo es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

6.6 Se determinó que el costo del mantenimiento bianual del tratamiento superficial bicapa, tiene una notoria diferencia respecto al costo del mantenimiento quinquenal

del pavimento flexible (Tabla 17), por este motivo el costo de mantenimiento no es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

6.7 Se determinó que el mantenimiento bianual del tratamiento superficial bicapa, requiere una aplicación de 5 veces para el período de 10 años, que es mayor que las 2 veces que representa el mantenimiento quinquenal del pavimento flexible (Tabla 17), por esto el mantenimiento bianual no es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.

## **VII. RECOMENDACIONES**

7.1 Se recomienda de manera indispensable determinar las características básicas de una carretera para su correcto estudio, ya que de estas depende su clasificación, y por ende el diseño de su pavimentación.

7.2 Se recomienda implementar variaciones en los espesores de diseño estructural de pavimentos resultados de la guía de diseño ASSHTO, en caso de ser necesarios para cumplir con la normativa nacional vigente.

7.3 Se recomienda tener sumo cuidado en la manipulación de mezclas asfálticas en caliente para la realización de ensayos, ya que estos deben ejecutarse indispensablemente con la supervisión de un técnico de laboratorio o algún experto.

7.4 Se recomienda revisar material bibliográfico de ensayos antes realizados en circunstancias similares a las de estudio para verificar que se realice en óptimas condiciones, y no generar una contaminación del materia de muestra.

7.5 Se recomienda, para investigaciones futuras, incluir pruebas de control para vías que se encuentren en zonas con intemperismo constante, pues son más propensas a requerir mantenimiento o reconstrucciones.

7.6 Se recomienda, para investigaciones futuras, adicionar ensayos que permitan evaluar porciones más grandes del pavimento para medir en mayor magnitud sus deformaciones con esfuerzos concentrados.

## REFERENCIAS

Ministerio de Economía y Finanzas. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima, 2015.

MENÉNDEZ, Jaime. Manual técnico de Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas. Lima: Organización Internacional del Trabajo, 2018.

ÁLVAREZ, Byron. Uso de los Morteros Asfálticos en Vías: Colocación del Mortero Asfáltico Slurry Seal en la vía La Armenia – Pacto Tramo Gualea Cruz – Pacto. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Quito: Universidad San Francisco, 2017.

BALBIN ARCHI, Robinson, y CHOCHON GOMEZ, Victor Hugo. Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de Lima. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Lima: Universidad San Martín de Porres, 2019.

ARIZA D., SÁNCHEZ C. Y CARREÑO, K. Volumetric properties of hot mix asphalt with “MAPIA” natural asphalt and recycled rubber crumb as mineral filler. *Journal of Engineering Sciences*, vol. 19(1), pp.38-44, 2022. <https://doi.org/10.22463/2011642X.3051>

CAPARACHIN PAREDES, Luis Enrique. Aplicación de la bicapa para reducir el ciclo de mantenimiento en la vía de Huancabamba – Pozuzo de la región Pasco. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018.

RIVERA CRUZ, Carlos Alberto. Evaluación del tratamiento superficial bicapa a nivel de ejecución, de la obra mejoramiento de la ruta am-100, Bagua-la peca; del circuito vial ii – Amazonas. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Jaén: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017.

MANCHA DE LA CRUZ, Rossini. Análisis comparativo del costo por niveles de serviciabilidad entre el tratamiento superficial slurry seal y el tratamiento granular convencional. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2016.

DE LA CRUZ VEGA, Sleyther Arturo y PAREDES CAHUANA, Guirlo Alejandro. Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería, Iss 21*. <https://doi.org/10.36561/ING.21.9> Universidad de Montevideo: Lima, 2021.

WEI, Fulu and others. Determination of Optimal Pretreatment Method for Existing Pavement Surface in High-Friction Surface Treatment Construction. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*. Vol 147. March 2021. [Fecha de consulta: 18 Abril 2022]. ISSN 25735438 DOI: 10.1061/JPEODX.0000257

GAERTNER, M., DE MELO, J.S., VILLENA, J. The influence of the wave loads in the estimation of life to the fatigue of asphalt layer in pavement structure. *Construction Engineering Journal*. 34 (2). 2019. DOI 10.4067/S0718-50732019000200136.

UCHUARI MALLA, Roberto Alexander. Análisis de la correlación entre estabilidad y módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente, empleando agregados pétreos para la provincia de Sucumbios. Tesis (Magister en ingeniería vial) Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016.

AZARIJAFARI, Hessam, and others. Carbon uptake of concrete in the US pavement network. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 167. June 2021. [Fecha de consulta: 18 Abril 2022]. ISSN 09213449 DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105397

BRICEÑO ESTRADA, Carla y TELLO VÁSQUEZ, Ulises. Análisis comparativo del diseño estructural y evaluación económica entre un pavimento rígido, flexible y adoquinado utilizando el método asshto-93, para la Av. Miguel Grau, Tres de

octubre, Nuevo Chimbote. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2019.

AMARASIRI, Saumya y MUHUNTHAN, Balasingam. Evaluating Cracking Deterioration of Preventive Maintenance-Treated Pavements Using Machine Learnin. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*. Vol 148. June 2021. ISSN 25735438 DOI 10.1061/JPEODX.0000354

SANDOVAL RIVERA, Yeltsin. Mantenimiento Periódico inicial en la mejora de vida útil del pavimento en la carretera: Pucará km 13+542 al Dv. Pampas km 39+842. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018.

CABERO ALMENARA, Julio. Definición y propósito de la Investigación Aplicada. Bibliotecas Duoc UC. [actualizado 27 octubre 2018] [fecha de consulta 26 mayo 2020]. Disponible en:<http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion-aplicada>

ÑAUPAS PAITÁN, Humberto, et al. *Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de tesis*. 5ta ed. Ediciones de la U, 2016.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la Investigación*. 6ed. Ciudad de México: Mc Graw-Hill, 2014.

LIESER, P, et al. The Webinar Integration Tool: A Framework for Promoting Active Learning in Blended Environments. *Journal of Interactive Media in Education*, 2018(1): 7, pp. 1–8, DOI: <https://doi.org/10.5334/jime.453>

STANLEY, Julian y CAMPBELL, Donald. *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*. 4ta ed. España: Amorrortu Editores España SL, 2015.

BAVARESCO, Aura. *Proceso Metodológico en la Investigación: Cómo hacer un Diseño de Investigación*. 7ma ed. Maracaibo: EDILUZ, 2015.

MUÑOZ-CARPINTERO, D., SÁEZ, D., CORTÉS, C. E., & NÚÑEZ, A. A Methodology Based on Evolutionary Algorithms to Solve a Dynamic Pickup and Delivery Problem Under a Hybrid Predictive Control Approach. *Transportation Science*, 49(2), 239–253, 2015 doi:10.1287/trsc.2014.0569

SUSANTO, Hery Awan, YANG, Shih-Hsien y CHOU, Huan-Hsun. Mechanical properties of thin surface treatment for pavement maintenance. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. Vol 14, Issue 2, Pages 136 – 157. 2019. ISSN 1822427X DOI 10.7250/bjrbe.2019-14.437

GUZMÁN HERNÁNDEZ, G. Evaluación técnica económica del mejoramiento de vía en el municipio de Carurú departamento del Vaupés: con tecnología de losas cortas. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2020.

HAN, Yajin and others. Effects of design parameters and moisture conditions on interface bond strength between thin friction course (TFC) and underlying asphalt pavement. *Construction and Building Materials*. Vol 2691. February 2021. ISSN 09500618 DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.121347

SALDAÑA YAURI, Bryan y TAIPE Arestegui, Wyler. Rehabilitación y mejoramiento en vías de bajo volumen de tránsito a nivel tratamiento superficial slurry seal Canayre Puerto Palmeras-Ayacucho. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Lima: Universidad San Martín de Porres, 2018.

CHANG JIANG, Kou. Performance evaluation of hot mix asphalt reinforced by basalt fibers with various diameters. *Journal of Testing and Evaluation*. Vol 50. July 2021. ISSN 00903973 DOI 10.1520/JTE20210431

KOPCSO, D., y PACHAMANOVA, D. Case Article—Business Value in Integrating Predictive and Prescriptive Analytics Models. *Informations Transactions On Education*, 19(1), 2018. doi:10.1287/ited.2017.0186ca

SANTES GENOVES, A. Desarrollo de una herramienta para la gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos mediante optimización multiobjetivo. Aplicación al distrito Cuatro Carreres de la ciudad de Valencia. (Tesis para Master de Caminos, Canales y Puertos). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2021. <http://hdl.handle.net/10251/163774>

CONDEZO TORRES, Roy Leandro. Análisis del comportamiento funcional y estructural de la carretera Lamas – Pamashto y Bellavista – Ledoy con tratamientos superficiales. Tesis (Pregrado Ingeniería Civil). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2021.

LÓPEZ ROLDÁN, Pedro y FACHELLI, Sandra. Metodología de la investigación social cuantitativa. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2016.

NAMAKFOROOSH, Mohammad. Metodología de la Investigación 2da ed. México: Limusa, 2005. ISBN: 968-18-5517-8.

ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación. 6ta ed. Caracas: Episteme, 2012.

OTZEN, Tamara y MANTEROLA Carlos. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1):227-232, 2017

FREMETH, A., HOLBURN, G., & RICHTER, B. Bridging Qualitative and Quantitative Methods in Organizational Research: Applications of Synthetic Control Methodology in the U.S. Automobile Industry. *Organization Science*, 27(2), 462–48, 2016. doi:10.1287/orsc.2015.1034

GOMEZ BASTAR, Sergio. Metodología de la Investigación. 2da Ed. México: Red Tercer Milenio, 2016. ISBN:978-607-733-149-0

PUENTE, Wilson. Técnicas de Investigación. *Revista Relaciones Públicas Net*. Año4 N°22. Mayo 2018 [Fecha consulta 17 de Abril 2022] Disponible en: <http://www.rppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>

RIEZLER, Stefan y HAGMANN, Michael. Validity, Reliability, and Significance: Empirical Methods for NLP and Data Science. *Synth Lect Human Lang Technol* 2022;14(6):1-147. DOI 10.2200/S01137ED1V01Y202110HLT055

BOLOGNA, Eduardo. *Métodos estadísticos de la investigación*. Buenos Aires: Editorial Brujas, 2018. ISBN 9789877601145

ZHENG, F., ZUYLEN, H., & LIU, X. A Methodological Framework of Travel Time Distribution Estimation for Urban Signalized Arterial Roads. *Transportation Science*, 51(3), 893–917, 2017. DOI 10.1287/trsc.2016.0718

Instituto de la Construcción y Gerencia. Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial. 2da ed. Lima: Editorial ICG, 2018.

Ministerio de transportes y comunicaciones. Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima, 2008.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima, 2013.

Municipalidad distrital de Choros. Expediente técnico. Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en la capital distrital de Choros, distrito de Choros provincia de Cutervo región Cajamarca; II etapa. 2020.

HERRA-GÓMEZ, Luis Diego. Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre. Programa de Infraestructura del Transporte. Costa Rica, 2017.

Austrroads. Update of the Austrroads Sprayed Seal Design Method. Australia, 2016.

KLEIN, C. Chip Seal over Gravel Road Project. Minnesota, 2018.

Victorian State Road Authority. Management and maintenance of the road network. Modified traffic conditions in VicTraffic. 2018.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. Informe de Evaluación de la Red Vial Pavimentada de Costa Rica. San José: Universidad de Costa Rica, 2015.

North Carolina department of transportation. Chip seal best practices manual. 2015  
Asphalt Institute and Asphalt Emulsion Manufacturers Association. A Basic Asphalt Emulsion Manual. United States, 1992.

American Association of state Highway Transportation Officials – AASHTO-93. Guide for design of pavement Structures. Washington D.C, 1993.

## **ANEXOS**

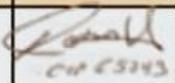
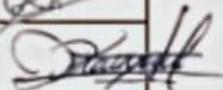
## ANEXO 1: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente (X)  Tratamiento superficial bicapa (X1)  Pavimento flexible (X2)	VI (X1): Los tratamientos superficiales bicapa se definen como la aplicación uniforme de ligante asfáltico cubierta por una capa de agregados, los cuales varían de tamaño de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto. (Gaertner et. Al, 2019)	VI (X1): Esta variable será medida considerando los espesores de las capas de la estructura en centímetros y el sistema de mantenimiento anual en soles por kilómetro.	Diseño de tratamiento superficial bicapa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor de las capas de la estructura (centímetros)</li> <li>• Sistema mantenimiento bianual (S/km)</li> </ul>	De razón
	VI (X2): El pavimento flexible está compuesto por subbase, base granular y capa de rodadura, esta última soporta las deformaciones directas producidas por el pase vehicular y es constituida por material asfáltico, agregados y, de ser el caso, aditivos. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2008).	VI (X2): Esta variable será medida considerando los espesores de las capas de la estructura en centímetros y el sistema de mantenimiento quinquenal en soles por kilómetro.	Diseño de pavimento flexible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor de las capas de la estructura (centímetros)</li> <li>• Sistema mantenimiento quinquenal (S/km)</li> </ul>	
Variable dependiente (Y)  Evaluación técnico-económica	VD (Y): La evaluación técnico- económica examina la inversión de recursos con indicadores importantes como precio, costos de construcción y eficiencia final, para verificar si se concreta un proyecto factible que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas. (Guzmán, 2020)	VD (Y): Esta variable, respecto a la dimensión técnica será medida considerando el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas, la estabilidad en kilogramos y flujo en milímetros. En relación con la dimensión económica será medida considerando el costo en soles.	Evaluación técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041 y MTC E-508.</li> <li>• Estabilidad (kg) y flujo (mm) Marshall ASTM D-1559 y MTC E-504.</li> </ul>	De razón
			Evaluación económica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo (S/)</li> </ul>	

## ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente (X)	Diseño de tratamiento superficial bicapa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor de las capas de la estructura (centímetros)</li> <li>• Sistema mantenimiento bianual (S/km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041 y MTC E-508.</li> </ul>
¿De qué manera la evaluación técnico-económica es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022?	Determinar de qué manera la evaluación técnico-económica es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022	La evaluación técnico-económica es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.	Tratamiento superficial bicapa (X1)	Diseño de pavimento flexible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor de las capas de la estructura (centímetros)</li> <li>• Sistema mantenimiento quinquenal (S/km)</li> </ul>	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente (Y)	Evaluación técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas ASTM D-2041 y MTC E-508.</li> <li>• Estabilidad (kg) y flujo (mm) Marshall ASTM D-1559 y MTC E-504.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de estabilidad y flujo Marshall ASTM D-1559 y MTC E-504</li> </ul>
¿De qué manera el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022?	Determinar de qué manera el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.	El peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.	Evaluación técnico-económica			
¿De qué manera la estabilidad y flujo Marshall es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022?	Determinar de qué manera la estabilidad y flujo Marshall es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.	La estabilidad y flujo Marshall son factibles para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fichas para el registro de datos.</li> </ul>
¿De qué manera el costo directo es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022?	Determinar de qué manera el costo directo es factible entre el tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.	El costo es factible para el tratamiento superficial bicapa para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022.		Evaluación económica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo (S/)</li> </ul>	

### ANEXO 3: Recolección de datos peso específico teórico máximo

Ficha técnica N°1: Recolección de datos peso específico teórico máximo				
Tesis: Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca – 2022				
Tesista:	Scarleth Sabrina Ramos Herrera			
Norma:	ASTM D-2041	Briquetas:		
	MTC E-508	4 Tratamiento superficial bicapa (CRS-2) 4 Pavimento flexible (MAC-2)		
Briquetas tratamiento superficial bicapa				
Tipo de Mezcla	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
N° Briqueta	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso Específico Teórico Máximo				
			Promedio	
Briquetas pavimento flexible				
Tipo de Mezcla	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
N° Briqueta	P-1	P-2	P-3	P-4
Peso Específico Teórico Máximo				
			Promedio	
Experto	Nombre Completo	CIP	Puntuación (0-1)	Firma
Experto Ingeniero 1	Richard Acuña Franco	65743	1	
Experto Ingeniero 2	Esteban Javier Abel	234035	1	
Experto Ingeniero 3	Katherine Cruz Quispe	245751	1	
Fecha	20-06-2022	Leyenda	Válido	1
			No válido	0

## ANEXO 4: Recolección de datos estabilidad y flujo Marshall

Ficha técnica N°2: Recolección de datos estabilidad y flujo Marshall				
Tesis: Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros – Puente Chamaya III, Cajamarca – 2022				
Tesista:	Scarleth Sabrina Ramos Herrera			
Norma:	ASTM D-1569	Briquetas:		
	MTC E-504	4 Tratamiento superficial bicapa (CRS-2) 4 Pavimento flexible (MAC-2)		
Briquetas tratamiento superficial bicapa				
Tipo de Mezcla	CRS-2	CRS-2	CRS-2	CRS-2
N° Briqueta	T-1	T-2	T-3	T-4
Flujo (mm)				
			Promedio	
Estabilidad sin corregir (kg)				
Factor de corrección				
Estabilidad corregida (kg)				
			Promedio	
Briquetas pavimento flexible				
Tipo de Mezcla	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC-2
N° Briqueta	P-1	P-2	P-3	P-4
Flujo (mm)				
			Promedio	
Estabilidad sin corregir (kg)				
Factor de corrección				
Estabilidad corregida (kg)				
			Promedio	
Experto	Nombre Completo	CIP	Puntuación (0-1)	Firma
Experto Ingeniero 1	Richard Acuña Franco	65743	1	
Experto Ingeniero 2	Esteban Javier Abel	234035	1	
Experto Ingeniero 3	Katherine Cruz Quispe	245751	1	
Fecha	20-08-2022	Leyenda	Válido	1
			No válido	0

## ANEXO 5: Número de calicatas para exploración de suelos

Según el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos-2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.”:

### Número de Calicatas para Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li></ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li></ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• 4 calicatas x km</li></ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 calicatas x km</li></ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2 calicatas x km</li></ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 calicata x km</li></ul>	

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

## ANEXO 6: Número de ensayos Mr y CBR

Según el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos-2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.”: Aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramientos.

### Número de Ensayos Mr y CBR

Tipo de Carretera	Nº Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li></ul>
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido</li><li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido</li></ul>
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 1 km se realizará un CBR</li></ul>
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 1.5 km se realizará un CBR</li></ul>
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 2 km se realizará un CBR</li></ul>
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cada 3 km se realizará un CBR</li></ul>

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

## ANEXO 7: Perfil estratigráfico Calicata C-01



**CIMENTA JBM E.I.R.L.**

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Perfil Estratigráfico

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-05

**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLO	NATURALEZA DEL TERRENO	MUESTRA	OBSERVACIONES
	0.00	ML-CL	ARCILLAS LIMOSAS DE MEDIANA PLASTICIDAD COLOR BEIGE CLARO	M-1	
	1.00	ML	LIMOS Y ARENAS MUY FINAS Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD	M-2	
	1.50				

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cossina Orrego  
CIP Nº 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
P. Antonio Barahen Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

## ANEXO 8: Perfil estratigráfico Calicata C-02



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Perfil Estratigráfico

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-05

**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-02

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	SIMBOLO	NATURALEZA DEL TERRENO	MUESTRA	OBSERVACIONES
	0.00	ML-CL	ARCILLAS LIMOSAS DE MEDIANA PLASTICIDAD COLOR BEIGE CLARO	M-1	
	0.80	ML	LIMOS Y ARENAS MUY FINAS Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD	M-2	
	1.50				

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel J. Collina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Borjauren Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

## ANEXO 9: Granulometría Calicata C-01



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022  
**Código:** 0016052022-07  
**Fecha:** 16 Mayo 2022  
**Muestra:** C-01  
**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera  
**Profundidad:** 0.00-1.50m

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)
100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
80.00	100.00	100.00	0.00	0.00
63.00	100.00	100.00	0.00	0.00
50.00	100.00	100.00	0.00	0.00
40.00	100.00	100.00	0.00	0.00
25.00	100.00	100.00	0.00	0.00
20.00	100.00	100.00	0.00	0.00
12.50	100.00	100.00	0.00	0.00
10.00	100.00	100.00	0.00	0.00
6.30	100.00	100.00	0.00	0.00
5.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1.25	98.00	98.00	2.00	2.00
0.40	89.38	89.38	10.62	8.62
0.16	87.67	87.67	12.33	1.71
0.08	85.91	85.91	14.09	1.76

Límite Líquido (LL)	21.52 %
Límite Plástico (LP)	15.43 %
Índice plasticidad (IP)	5.82 %

Pasa tamiz N°4 (5mm)	100.00 %
Pasa tamiz N°200 (0.080mm)	85.91 %
D60	mm
D30	mm
D10 (Diámetro efectivo)	mm

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Collina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barthelemy Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

## ANEXO 9: Granulometría Calicata C-01, continuación.



# CIMENTAJBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

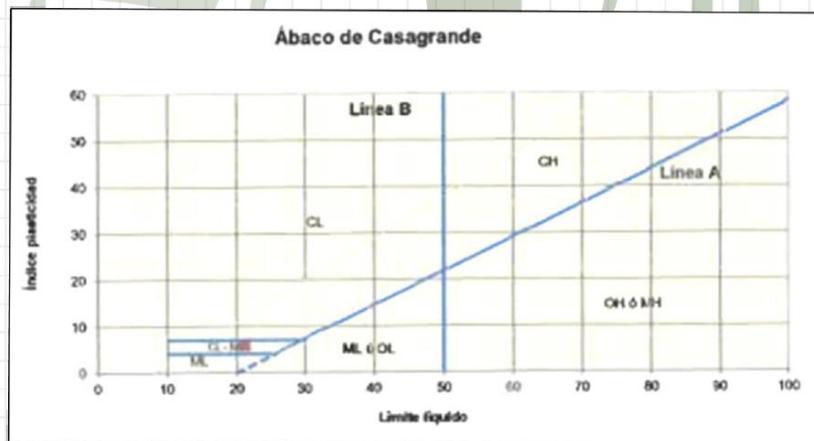
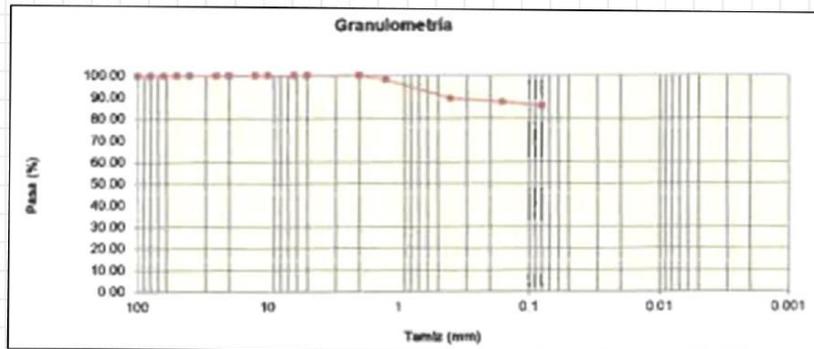
**Código:** 0016052022-07

**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m



#### Clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas

Arcilla limosa CL-ML

SIMENTAJBM E.I.R.L.  
Antonio Barahona González  
GERENTE TÉCNICO

SIMENTAJBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cotina Orrego  
CIP No 77917

## ANEXO 9: Granulometría Calicata C-01, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Código:** 0016052022-07

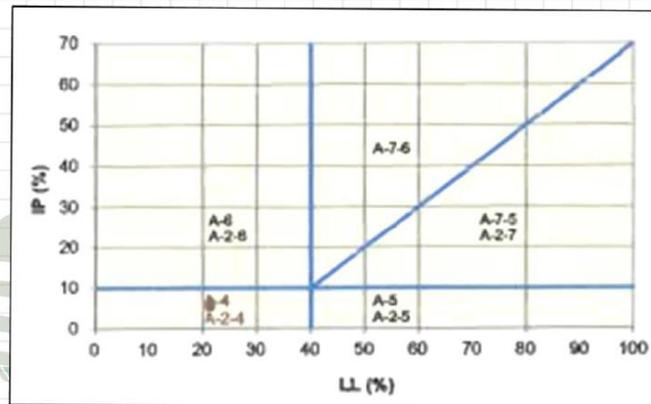
**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Profundidad:** 0.00-1.50m

### Clasificación AAHSTO

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



Material limoso-arenoso  
Pobre a malo como subgrado  
A-4 Suelo limoso

Valor del índice de grupo (G):

2

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cotina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
P. Antonio Barbauren Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 9: Granulometría Calicata C-01, continuación.



# SIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

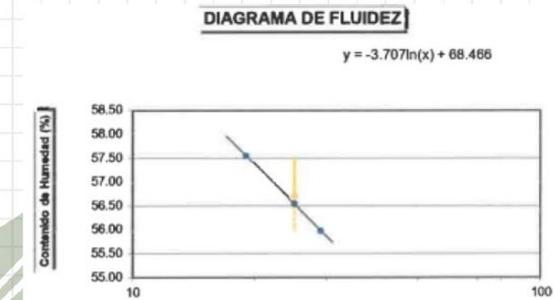
### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022  
**Código:** 0016052022-07  
**Fecha:** 16 Mayo 2022  
**Muestra:** C-01  
**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera  
**Profundidad:** 0.00-1.50m

LÍMITE LIQUIDO (LL)			
N° Golpes	19	25	29
Recipiente N°	1	2	3
Peso Suelo Húmedo (gr)	38.12	43.54	39.18
Peso Suelo Seco (gr)	32.21	35.68	32.95
Peso tarro (gr)	21.94	21.78	21.82
% de humedad	57.55	56.55	55.97

LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
Recipiente N°		4
Peso Suelo Húmedo (gr)		31.49
Peso Suelo Seco (gr)		30.25
Peso tarro (gr)		22.21
% de humedad		15.43

HUMEDAD NATURAL		
Recipiente N°		5
Peso Suelo Húmedo (gr)		55.74
Peso Suelo Seco (gr)		48.21
Peso tarro (gr)		22.85
% de humedad		26.69



LL	21.25%
LP	15.43%
IP	5.82%
H	29.69%

Índice de Grupo	2
Clasificación AASHTO	A-4
Clasificación Unificado	CL-ML

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Antonio Barthen Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Collina Orrego  
CIP N° 77917

## ANEXO 9: Granulometría Calicata C-01, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

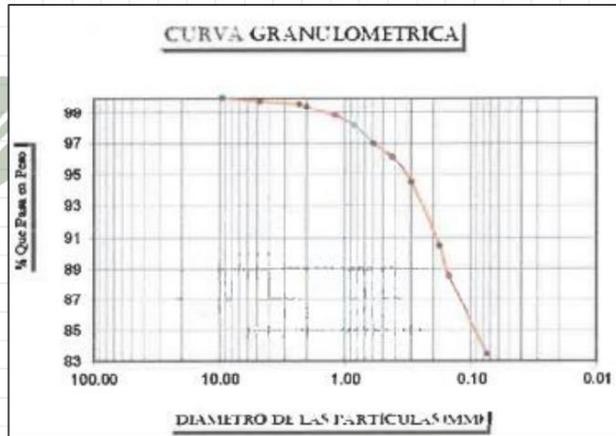
SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022  
**Código:** 0016052022-07  
**Fecha:** 16 Mayo 2022  
**Muestra:** C-01  
**Profundidad:** 0.00-1.50m

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

Tamices	Suelo retenido (gr)	%Retenido	% Que pasa
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
1/4"			100.00%
N°4	0.54	0.22%	99.78%
N°8			
N°10	0.95	0.38%	99.40%
N°16			
N°20	3.22	1.29%	98.12%
N°30	2.85	1.14%	96.98%
N°40	2.33	0.93%	96.04%
N°50	3.88	1.55%	94.49%
N°80			
N°100	15.18	6.07%	88.42%
N°200	12.47	4.99%	83.43%
Fondo	208.58	83.43%	
	250.00	100.00%	



LOCALIZACIÓN	KM 0+020
POZO	1
PROFUNDIDAD	0.00-1.50
MUESTRA	C-01

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cotina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barahen Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

## ANEXO 10: Granulometría Calicata C-02



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022  
**Código:** 0016052022-08  
**Fecha:** 16 Mayo 2022  
**Muestra:** C-02  
**Profundidad:** 0.00-1.50m

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)
100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
80.00	100.00	100.00	0.00	0.00
63.00	100.00	100.00	0.00	0.00
50.00	100.00	100.00	0.00	0.00
40.00	100.00	100.00	0.00	0.00
25.00	100.00	100.00	0.00	0.00
20.00	100.00	100.00	0.00	0.00
12.50	100.00	100.00	0.00	0.00
10.00	100.00	100.00	0.00	0.00
6.30	100.00	100.00	0.00	0.00
5.00	100.00	100.00	0.00	0.00
2.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1.25	1.25	98.00	98.00	2.00
0.40	0.40	89.34	89.34	10.66
0.16	0.16	87.69	87.69	12.31
0.08	0.08	85.89	85.89	14.11

Límite Líquido (LL)	20.45 %
Límite Plástico (LP)	15.32 %
Índice plasticidad (IP)	5.13 %

Pasa tamiz N°4 (5mm)	100.00 %
Pasa tamiz N°200 (0.080mm)	85.89 %
D60	Mm
D30	Mm
D10 (Diámetro efectivo)	Mm

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Collina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Baruren Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 10: Granulometría Calicata C-02, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

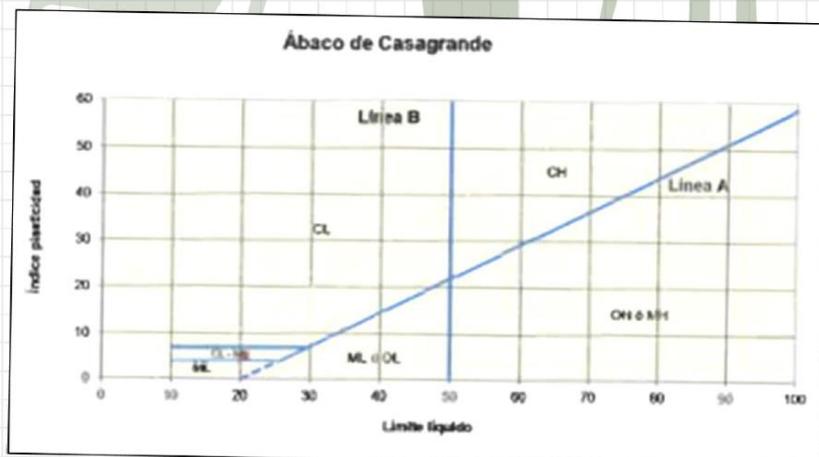
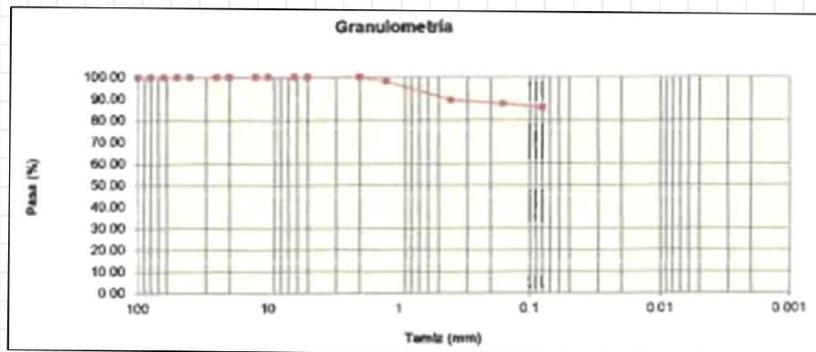
**Código:** 0016052022-08

**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-02

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m



#### Clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas

Arcilla limosa CL-ML

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Córdova Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
P. Antonio Busturen Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 10: Granulometría Calicata C-02, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Código:** 0016052022-08

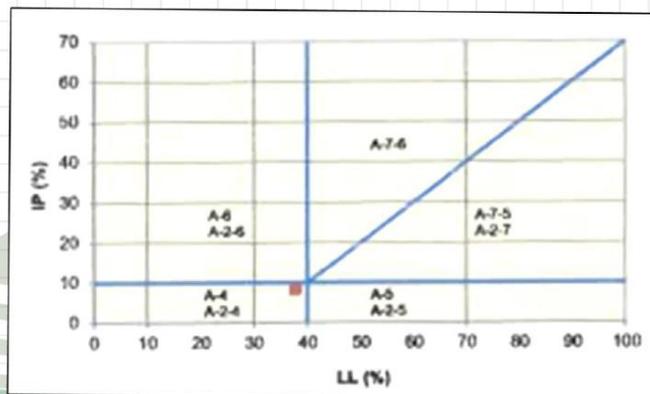
**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-02

**Profundidad:** 0.00-1.50m

#### Clasificación AAHSTO

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



Material limoso-arenoso  
Pobre a malo como subgrado  
A-4 Suelo limoso

Valor del índice de grupo (G): 4

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Costina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barthen Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

# ANEXO 10: Granulometría Calicata C-02, continuación.



## CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

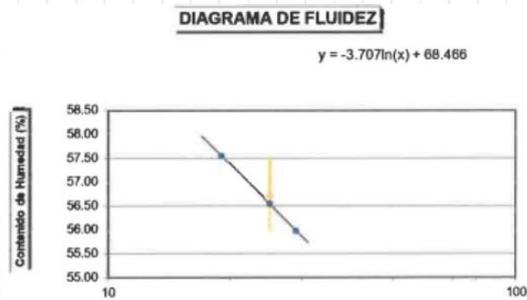
### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022  
**Código:** 0016052022-08  
**Fecha:** 16 Mayo 2022  
**Muestra:** C-02  
**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera  
**Profundidad:** 0.00-1.50m

LÍMITE LIQUIDO (LL)			
N° Golpes	21	25	30
Recipiente N°	6	7	8
Peso Suelo Húmedo (gr)	36.93	41.89	36.98
Peso Suelo Seco (gr)	31.29	34.37	31.35
Peso tarro (gr)	21.54	21.11	21.21
% de humedad	57.85	56.71	55.52

LÍMITE PLÁSTICO (LP)	
Recipiente N°	9
Peso Suelo Húmedo (gr)	31.44
Peso Suelo Seco (gr)	29.45
Peso tarro (gr)	22.16
% de humedad	27.30

HUMEDAD NATURAL	
Recipiente N°	10
Peso Suelo Húmedo (gr)	56.02
Peso Suelo Seco (gr)	48.22
Peso tarro (gr)	22.18
% de humedad	29.95



LL	20.45%
LP	15.32%
IP	5.13%
H	29.95%

Índice de Grupo	4
Clasificación AASHTO	A-4
Clasificación Unificado	ML-CL

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Collina Omega  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barriento Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

## ANEXO 10: Granulometría Calicata C-02, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM C-136 MTC E-204

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-08

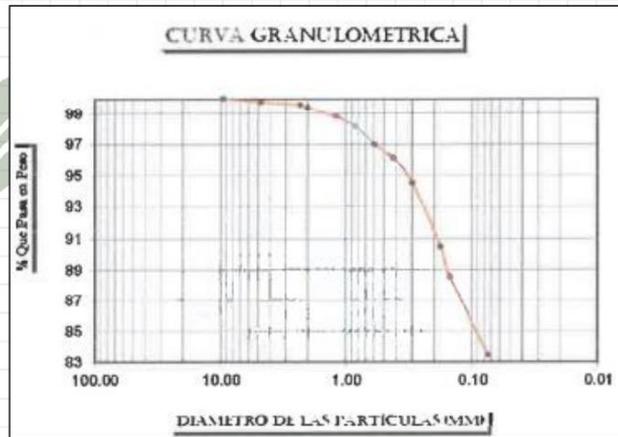
**Fecha:** 16 Mayo 2022

**Muestra:** C-02

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

Tamices	Suelo retenido (gr)	%Retenido	% Que pasa
3"			
2 1/2"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
1/4"			100.00%
N°4	0.48	0.19%	99.81%
N°8			
N°10	0.95	0.38%	99.43%
N°16			
N°20	2.29	0.92%	98.51%
N°30	2.75	1.10%	97.41%
N°40	2.43	0.97%	96.44%
N°50	3.81	1.52%	94.92%
N°80			
N°100	14.11	5.64%	89.27%
N°200	10.54	4.22%	85.06%
Fondo	212.64	85.06%	
	250.00	100.00%	



LOCALIZACIÓN	KM 0+780
POZO	2
PROFUNDIDAD	0.00-1.50
MUESTRA	C-02

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel J. Collina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barturen Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 11: Ensayo California Bering Ratio



### CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

#### Ensayo California Bearing Ratio

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-06

**Fecha:** Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

CBR							
1	Molde	1		2		3	
2	N° de Capas	5		5		5	
3	N° Golpe por capa	56		25		12	
4	Condición de la muestra	Sin mojar	Mojada	Sin mojar	Mojada	Sin mojar	Mojada
5	Peso Molde + Suelo Húmedo	9496	9681	9492	9580	9455	9660
6	Peso del Molde	5003	5003	5126	5126	5268	5268
7	Peso del Suelo Húmedo	4493	4678	4366	4454	4187	4392
8	Volumen del Suelo	2143	2143	2143	2143	2143	2143
9	Densidad Húmeda	2.097	2.183	2.037	2.078	1.954	2.049
10	Tarro N°	1	2	3	4	5	6
11	Peso Tarro + Suelo Húmedo	126.41	138.92	136	135.58	116.2	145.31
12	Peso Tarro + Suelo Seco	111.64	119.53	119.81	116.47	102.14	122.47
13	Peso de Agua Contenida	14.77	19.39	16.19	19.11	14.06	22.84
14	Peso de Tarro	26.51	27.78	28.95	25.88	23.65	24.71
15	Peso del Suelo Seco	85.13	91.75	90.86	90.59	78.49	97.76
16	% Humedad	17.35	21.13	17.82	21.10	17.92	23.36
17	Densidad Seca	1.79	1.80	1.73	1.72	1.66	1.66

EXPANSIÓN											
MOLDE			N°1			N°2			N°3		
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	mm	%	mm	mm	%	mm	mm	%
16/05/2022	16:30	0	0			0			0		
17/05/2022	0.69	24.00	7.04	7.04	6.07	8.02	8.02	6.91	8.12	8.12	7.00
18/05/2022	0.69	48.00	7.05	7.05	6.07	8.06	8.06	6.94	8.13	8.13	7.00
19/05/2022	0.69	72.00	7.07	7.07	6.10	8.07	8.07	6.96	8.14	8.14	7.01
20/05/2022	0.69	96.00	7.13	7.13	6.14	8.12	8.12	7.00	8.14	8.14	7.02

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel L. Collina Orrego  
ID No 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Bartrura Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | 📞 966 416 981 |  
✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 11: Ensayo California Bering Ratio, continuación.



**CIMENTAJBM E.I.R.L.**

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Ensayo California Bearing Ratio

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-06

**Fecha:** Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

PENETRACIÓN													
PENET	CARGA	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		mm/pulg	STD	CORREGIDA		LECTURA	CORREGIDA		LECTURA	CORREGIDA			
	LIBRAS	LECTURA	LIBRAS	LIB/PULG2	%		LIBRAS	LIB/PULG2		%	LIBRAS	LIB/PULG2	%
0.02		4.21	130.45	43.49		2.54	113.95	37.99		1.87	107.33	35.78	
0.04		6.83	156.34	52.11		3.44	122.85	40.95		2.25	111.09	37.03	
0.06		9.79	185.58	61.86		4.18	130.16	43.39		2.98	118.30	39.44	
0.08		11.67	204.15	68.05		5.86	146.75	48.92		3.74	125.81	41.94	
0.1	1000	12.27	210.08	70.03	7.00	7.99	167.80	55.94	5.59	4.14	129.76	43.26	4.33
0.2	1500	15.34	240.41	80.14		9.84	186.07	62.03		6.01	148.24	49.41	
0.3		19.58	282.30	94.10		12.28	210.18	70.06		8.24	170.27	56.76	
0.4		25.72	342.96	114.33		14.45	231.62	77.21		10.53	192.89	64.30	
0.5		32.48	409.75	136.59		16.89	255.72	82.25		13.46	221.84	73.95	

#### California Bearing Ratio (CBR %)

MOLDE	PENETRACIÓN	LBS / PULG2	N GOLPES	CBR %	D.M. SECA
1.00	0.1"	70.03	56.00	7.00	1.79
2.00	0.1"	55.94	25.00	5.59	1.73
3.00	0.1"	43.26	12.00	4.33	1.66

EMBEBIDO	EXPANSIÓN	PENETRACION	OPT HUM %	MAX DEN. 100%	MAX DEN. 95%	CBR 100%	CBR 95%
04 DÍAS	0.07	0.1"	17.35	1.79 Gr/cc	1.70 Gr/cc	7.00	4.85

SIMENTAJBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Colina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTAJBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barturen Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 11: Ensayo California Bering Ratio, continuación.



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Ensayo California Bearing Ratio

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0016052022-06

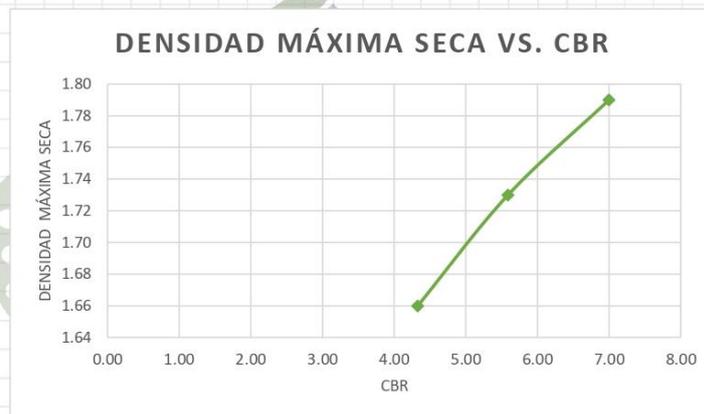
**Fecha:** Mayo 2022

**Muestra:** C-01

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

**Profundidad:** 0.00-1.50m

California Bearing Ratio (CBR %)					
MOLDE	PENETRACIÓN	LBS / PULG2	N GOLPES	CBR %	D.M. SECA
1.00	0.1"	70.03	56.00	7.00	1.79
2.00	0.1"	55.94	25.00	5.59	1.73
3.00	0.1"	43.26	12.00	4.33	1.66



SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel Uj Cotrina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barburén González  
GERENTE TÉCNICO

## **ANEXO 12: Clasificación subrasante**

---

Según el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

<b>Clasificación</b>	<b>CBRdiseño</b>
S0: Subrasante muy pobre	<3%
S1: Subrasante pobre	3-5%
S2: Subrasante regular	6-10%
S3: Subrasante buena	11-19%
S4: Subrasante muy buena	>20%

CUADRO 5.6.7 (c)

CATÁLOGO DE ESPESORES ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON TRAFICO T3				
CLASE DE TRÁFICO	T3	T3	T3	T3
Número de repeticiones de EE	3.0X10 <sup>5</sup> - 6X10 <sup>5</sup>	3.0X10 <sup>5</sup> - 6X10 <sup>5</sup>	3.0X10 <sup>5</sup> - 6X10 <sup>5</sup>	3.0X10 <sup>5</sup> - 6X10 <sup>5</sup>
Período de diseño	10 años	10 años	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%
Confiabilidad	75%	75%	75%	75%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,750	3,280	2,590	2,450
<b>Sub rasante sin mejoramiento</b>				
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente. (cm)	6,0	6,0	6,0	6,0
Base Granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	15,0	15,0
Sub base granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	20,0	15,0
<b>Total (cm)</b>			41,0	36,0

(\*) Una vez mejorada la subrasante y compactada al 95% de la máxima densidad seca, se colocará la capa de sub base granular de espesor 20cm y luego la capa de base granular de espesor 15 cm.

## ANEXO 14: Número estructural requerido por tipo de tráfico y subrasante

Según el Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUBRASANTE					
<b>CLASE DE TRÁFICO</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T1</b>
Número de repeticiones de EE	5.0X10 <sup>4</sup> -1.5X10 <sup>5</sup>				
Periodo de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiabilidad	60%	60%	60%	60%	60%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	2,890	2,510	1,950	1,830	1,680
<b>CLASE DE TRÁFICO</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>
Número de repeticiones de EE	1.5X10 <sup>5</sup> -3.0X10 <sup>5</sup>				
Periodo de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiabilidad	70%	70%	70%	70%	70%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,330	2,900	2,280	2,140	1,980
<b>CLASE DE TRÁFICO</b>	<b>T3</b>	<b>T3</b>	<b>T3</b>	<b>T3</b>	<b>T3</b>
Número de repeticiones de EE	3.0X10 <sup>5</sup> - 6X10 <sup>5</sup>				
Periodo de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiabilidad	75%	75%	75%	75%	75%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad Final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,750	3,280	2,590	2,450	2,260
<b>CLASE DE TRÁFICO</b>	<b>T4</b>	<b>T4</b>	<b>T4</b>	<b>T4</b>	<b>T4</b>
Número de repeticiones de EE	6.0X10 <sup>5</sup> -1.5X10 <sup>6</sup>				
Periodo de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiabilidad	80%	80%	80%	80%	80%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	4,120	3,620	2,870	2,720	2,520

## ANEXO 15: Módulo resiliente de la subrasante de acuerdo con el CBR

---

Correlación establecida por Heukelom y Klomp.

### CBR SUELOS FINOS (SUB RASANTE)

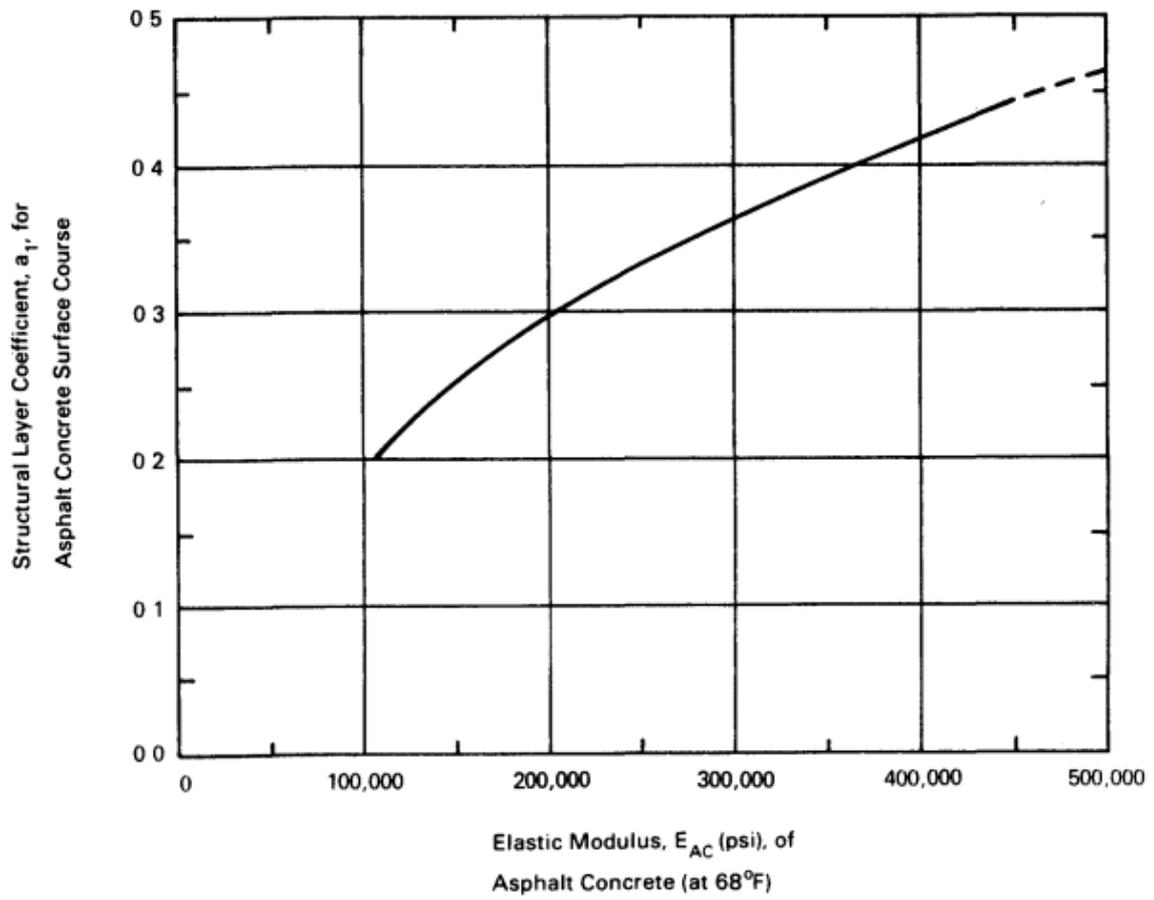
$Mr(\text{psi}) =$	$1500 \text{ CBR}$	$\text{CBR} < 7.2\%$
--------------------	--------------------	----------------------

$Mr(\text{psi}) =$	$3000 \text{ CBR}$	$\text{CBR de } 7.2 \text{ a } 20\%$
--------------------	--------------------	--------------------------------------

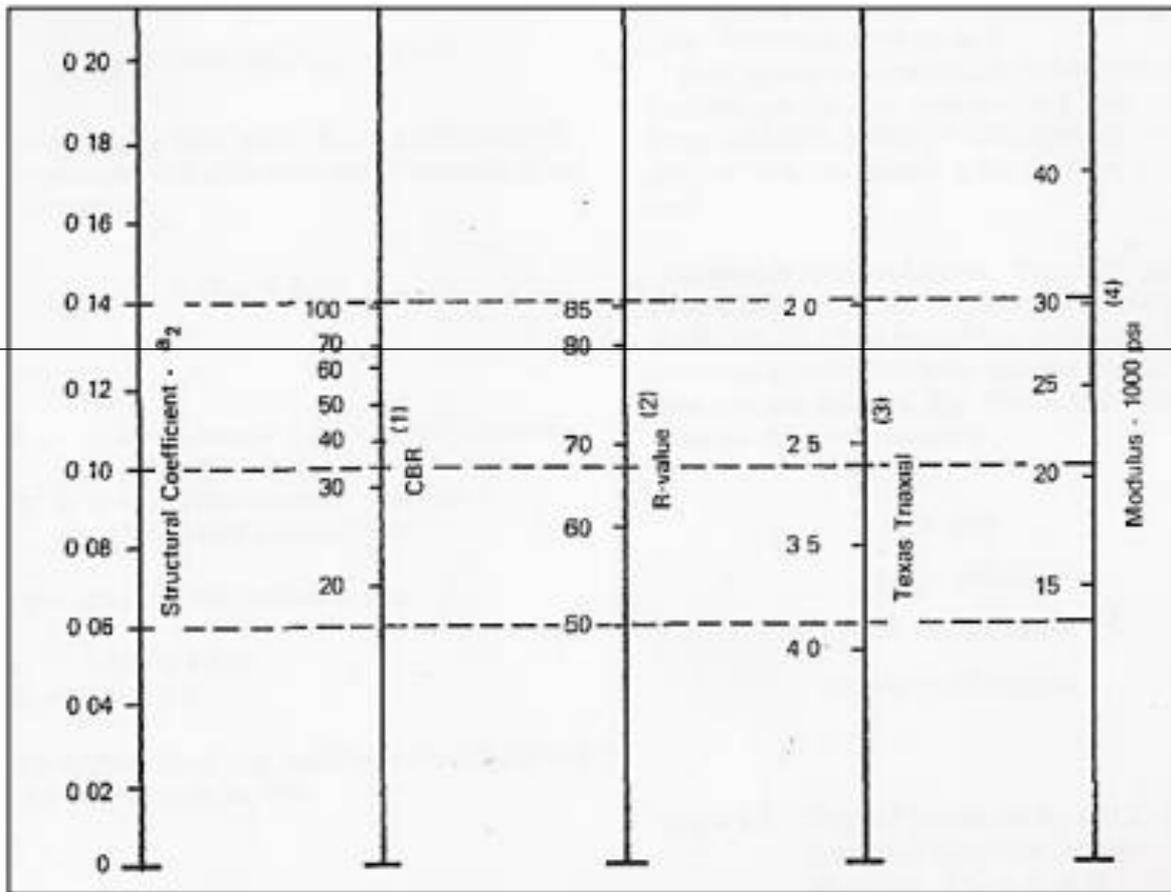
### CBR SUELOS GRANULARES (SUB RASANTE)

$Mr(\text{psi}) =$	$4326 \cdot \text{LnCBR} + 241$
--------------------	---------------------------------

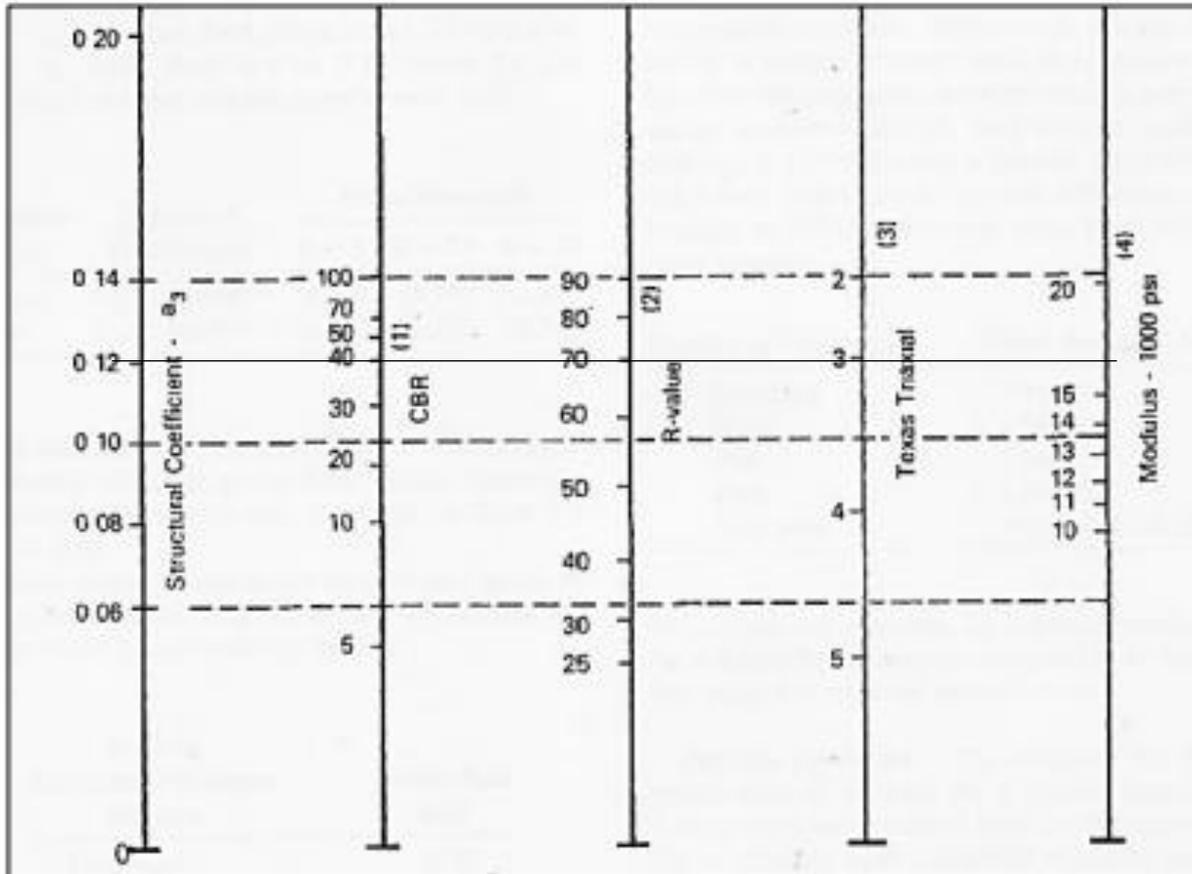
## ANEXO 16: Módulo resiliente de carpeta asfáltica



**ANEXO 17: Módulo resiliente de acuerdo con el CBR**



**ANEXO 18: Módulo resiliente de la subbase, acuerdo con el CBR**



## ANEXO 19: Aporte estructural de capas

---

<b>APORTE ESTRUCTURAL DE LAS CAPAS COMPONENTES DEL PAVIMENTO</b>	
<b>Capa del pavimento</b>	<b>Aporte estructural</b>
<b>Capa 1 – Superficie de rodadura</b>	
Carpeta concreto asfáltico tipo superior – Alta estabilidad	0.170/cm
Mezcla asfáltica en frío, con asfalto emulsionado	0.100/cm
Tratamientos superficiales	----
<b>Capa 2 – Bases</b>	
Base granular, CBR 80% compactada al 100% de los MDS	0.052/cm
Base granular, CBR 100% compactada al 100% de la MDS	0.056/cm
Base granular tratada con asfalto	0.135/cm
Base granular tratada con cemento	0.120/cm
Base granular tratada con cal	0.060 – 0.120/cm
<b>Capa 3 – Sub bases</b>	
Sub Base granular, CBR 25% compactada al 100% de la MDS	0.039/cm
Sub Base granular, CBR 30% compactada al 100% de la MDS	0.043/cm
Sub Base granular, CBR 40% compactada al 100% de la MDS	0.047/cm
Sub Base granular, CBR 60% compactada al 100% de la MDS	0.050/cm

## ANEXO 20: Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas ASTM D-2041 MTC E-508

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0019052022-03

**Fecha:** 19 Mayo 2022

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

Número de briqueleta	T-1	T-2	T-3	T-4
Tipo de Mezcla	CRS- 2	CRS- 2	CRS- 2	CRS- 2
Porcentaje de asfalto	5.00	5.00	5.00	5.00
1 Peso del Frasco + Agua (20°C)	3392.40	3391.50	3392.30	3393.00
2 Peso del Frasco + Muestra + Agua (20°C)	4116.80	4116.70	4117.00	4115.50
3 Peso Neto de la Muestra	1201.50	1202.30	1201.80	1201.50
4 Diferencia de Pesos (2-3)	2915.30	2914.40	2915.20	2914.00
5 Agua Desplazada (1-4)	477.10	477.10	477.10	479.00
6 Peso específico Teórico Máximo (3/5)	2.52	2.52	2.52	2.51

Número de briqueleta	P-1	P-2	P-3	P-4
Tipo de Mezcla	MAC-2	MAC-2	MAC-2	MAC
Porcentaje de asfalto	5.00	5.00	5.00	5.00
1 Peso del Frasco + Agua (20°C)	3392.50	3392.20	3392.00	3392.40
2 Peso del Frasco + Muestra + Agua (20°C)	4114.50	4114.80	4114.20	4112.80
3 Peso Neto de la Muestra	1200.20	1201.50	1201.00	1199.60
4 Diferencia de Pesos (2-3)	2914.30	2913.30	2913.20	2913.20
5 Agua Desplazada (1-4)	478.20	478.90	478.80	479.20
6 Peso específico Teórico Máximo (3/5)	2.51	2.51	2.51	2.50

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
P. Antonio Barrios Gonzalez  
GERENTE TÉCNICO

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cotrina Orrego  
CIF N° 77917

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | 📞 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

# ANEXO 21: Ensayo Marshall briquetas de emulsión catiónica de rotura rápida CRS-2



## CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Ensayo Marshall ASTM D-1559 MTC E-504

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0019052022-05

**Fecha:** 19 Mayo 2022

**Mezcla:** Emulsión Asfáltica

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

1	Número de briqueta	N°	T-1	T-2	T-3	T-4
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00
3	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02
4	Altura promedio de la briqueta	cm				
5	Peso de la briqueta en el aire	gr/cc	1196.5	1197.2	1195.8	1196.5
6	Peso de la briqueta secada superficialmente	gr/cc	1197	1198.4	1197.5	1197.3
7	Peso de la briqueta en el agua (25°)	gr/cc	692.5	693.2	692.8	693
8	Volumen de la briqueta (6-7)	cc	504.5	505.2	505.5	505.8
9	Peso Específico Aparente de la Briqueta (5/8)	cc	2.37	2.37	2.37	2.37
10	Peso Específico Teórico Máximo	cc	2.52	2.52	2.52	2.51
11	Flujo (0.01")	pulg	12.00	11.00	12.00	11.00
12	Estabilidad sin corregir	kgs	1459.00	1406.00	1433.00	1410.00
13	Factor de Estabilidad		1.02	1.02	1.02	1.02
14	Estabilidad corregida (12*13)	kgs	1488.18	1434.12	1461.66	1438.20
15	Índice de rigidez (14/11)	kg/cm	4882.48	5132.86	4795.47	5147.46

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Colina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Arturo Barahona Gonzales  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | 📞 966 416 981 |  
✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 22: Ensayo Marshall briquetas de mezcla asfáltica en caliente MAC-2



**CIMENTA JBM E.I.R.L.**

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Ensayo Marshall ASTM D-1559 MTC E-504

**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0019052022-06

**Fecha:** 19 Mayo 2022

**Mezcla:** Pavimento Flexible

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera

		N°	P-1	P-2	P-3	P-4
1	Número de briqueta					
2	Cemento Asfáltico en peso de la Mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00
3	Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02
4	Altura promedio de la briqueta	cm				
5	Peso de la briqueta en el aire	gr/cc	1186.90	1186.70	1191.00	1188.90
6	Peso de la briqueta secada superficialmente	gr/cc	1190.10	1189.20	1192.40	1191.30
7	Peso de la briqueta en el agua (25°)	gr/cc	671.50	674.30	673.10	672.60
8	Volumen de la briqueta (6-7)	cc	518.60	514.90	519.30	518.70
9	Peso Específico Aparente de la Briqueta (5/8)	cc	2.29	2.30	2.29	2.29
10	Peso Específico Teórico Máximo	cc	2.51	2.51	2.51	2.50
11	Flujo (0.01")	pulg	9.00	9.20	8.90	9.00
12	Estabilidad sin corregir	kgs	1050.00	1045.00	1035.00	1052.00
13	Factor de Estabilidad		1.02	1.02	1.02	1.02
14	Estabilidad corregida (12*13)	kgs	1071.00	1065.90	1055.70	1073.04
15	Índice de rigidez (14/11)	kg/cm	4685.04	4561.37	4670.00	4693.96

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cobina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barahona González  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 23: Gráficos ensayo Marshall



# CIMENTA JBM E.I.R.L.

SERVICIOS GENERALES DE INGENIERÍA  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO  
EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LABORATORIO  
RUC 20561140686

### Ensayo Marshall ASTM D-1559 MTC E-504

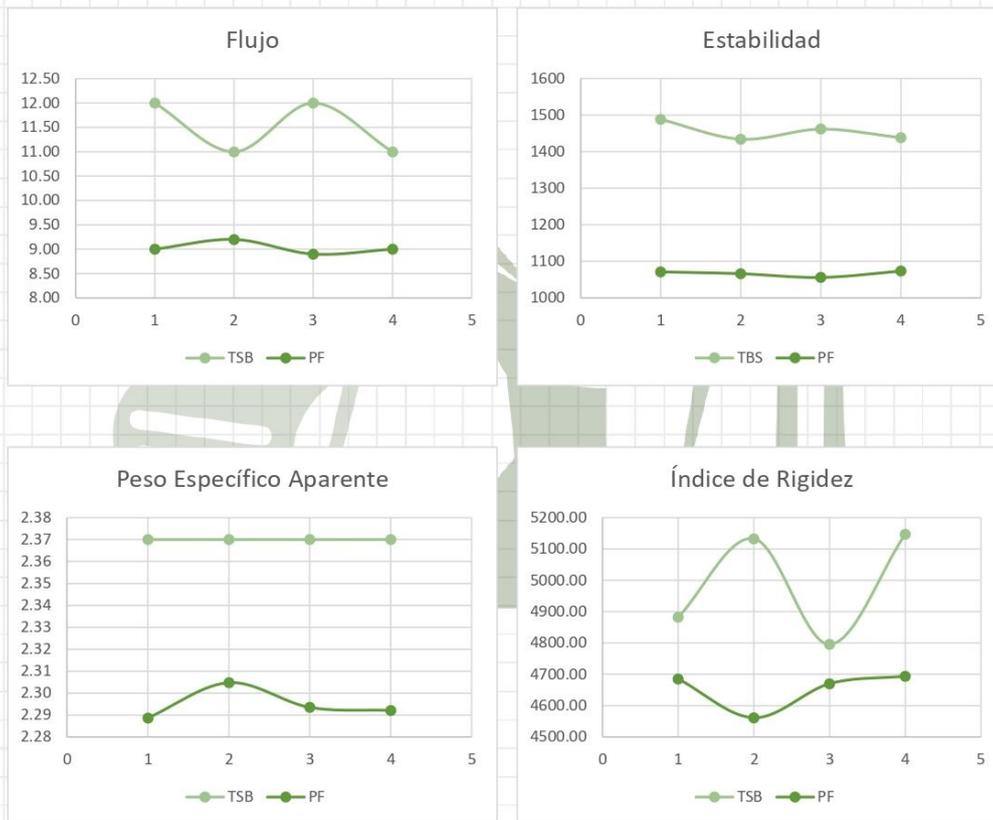
**Proyecto:** Evaluación técnico-económica entre tratamiento superficial bicapa y pavimento flexible para la vía afirmada Choros - Puente Chamaya III, Cajamarca, 2022

**Código:** 0019052022-07

**Fecha:** 19 Mayo 2022

**Mezcla:** Pavimento Flexible

**Solicitante:** Scarleth Ramos Herrera



SIMENTA JBM E.I.R.L.  
Ing. Manuel U. Cobina Orrego  
CIP N° 77917

SIMENTA JBM E.I.R.L.  
F. Antonio Barralón González  
GERENTE TÉCNICO

📍 Calle Manuel Seoane N1082 - La Victoria - Chiclayo | ☎ 966 416 981 |

✉ cimentajbm@hotmail.com | RUC: 20561140686

## ANEXO 24: Partida costo tratamiento superficial bicapa

---

<b>TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA</b>	COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2	<b>21.33</b>			
Rendimiento: M2/día	MO 350.00	E350.00			
<b>Descripción Recurso</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/</b>	<b>PARCIAL S/</b>
<b>Mano de obra</b>					
OPERARIO	HH	0.5000	0.0011	21.01	0.02
OFICIAL	HH	1.0000	0.0023	17.03	0.04
PEON	HH	6.0000	0.0137	15.00	0.21
					0.27
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	0.27	0.01
CAMION BARANDA 4-6 TON	HM	1.0000	0.0023	48	0.11
COMPRESORA NEUMATICA 87 HP 250-330PCM	HM	1.0000	0.0023	74.18	0.17
BARREDORA MECANICA 10-20 HP 7 P LONG	DIA	1.0000	0.0023	48.31	0.01
CAMION IMPRIMIDOR 6X2 178-210 HP 1800G	HM	1.0000	0.0023	160.42	0.37
					0.50
<b>MATERIALES</b>					
AGREGADO PETREO	M3		0.0010	65.00	0.07
EMULSION ASFALTICA					
CRS-2	GLN		0.3000	12.43	3.73
					3.79
<b>Subpartidas</b>					
PRIMERA CAPA TSB CON EMULSION ASFALTICA	M2/DIA		1.0000	8.46	8.46
SEGUNDA CAPA TSB CON EMULSION ASFALTICA	M2/DIA		1.0000	8.31	8.31
					16.77

## ANEXO 25: Partida costo pavimento flexible

---

### PAVIMENTO ASFALTICO EN

#### CALIENTE

COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M3 **183.98**

Rendimiento:

M3/día MO 338.00 E338.00

#### Descripción

#### Recurso

#### Mano de obra

	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/	PARCIAL S/
CAPATAZ	HH	1.0000	0.0237	18.44	0.44
OPERARIO	HH	1.0000	0.0237	14.75	0.35
PEON	HH	6.0000	0.142	11.58	1.64
					2.43

#### Equipos

HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.00	2.43	0.12
RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOP 111-130 HP 9-11 TON	HM	1.0000	0.0237	82.26	1.95
RODILLO NEUMATICO AUTOPROP 135 HO 9-26 TON	HM	1.0000	0.0237	122.89	2.91
PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP 10-16	HM	1.0000	0.0237	128.88	3.05
					8.04

#### Subpartidas

PREPARACION MEZCLA ASFALTICA	M3		1.3	133.47	173.51
------------------------------	----	--	-----	--------	--------

## ANEXO 26: Registro fotográfico

---



Reconocimiento área de estudio



Tramo vía afirmada

## ANEXO 26: Registro fotográfico

---



Excavación calicata C-1



Excavación calicata C-2

**ANEXO 26: Registro fotográfico, continuación**

---



Toma de muestra C-1



Toma de muestra C-2

**ANEXO 26: Registro fotográfico, continuación**

---



Mezclando material para la briqueta



Vaceado mezcla en molde

**ANEXO 26: Registro fotográfico, continuación**

---



Moldes para briquetas



Briquetas moldeadas

## ANEXO 26: Registro fotográfico, continuación



**Briquetas de mezcla asfáltica en caliente**



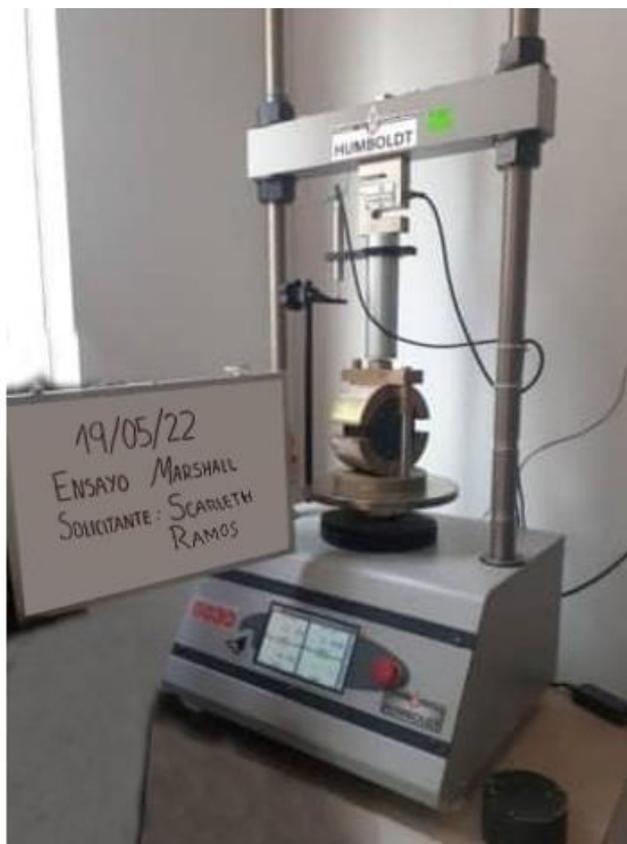
**Briquetas de emulsión asfáltica de rotura rápida**

**ANEXO 26: Registro fotográfico, continuación**

---



Baño maría de briquetas



Ejecución de Ensayo  
estabilidad y flujo Marshall



**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: "EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA Y PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA VÍA AFIRMADA CHOROS – PUENTE CHAMAYA III, CAJAMARCA, 2022", cuyo autor es RAMOS HERRERA SCARLETH SABRINA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, 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, 13 de Junio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
PINTO BARRANTES RAUL ANTONIO <b>DNI:</b> 07732471 <b>ORCID:</b> 0000-0002-9573-0182	Firmado electrónicamente por: RPINTOBA el 15-07- 2022 18:47:31

Código documento Trilce: TRI - 0307415