

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de goma de nopal

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Oscar Miguel Saavedra Torres

ASESOR

Anibal Teodoro Díaz Orrego

<https://orcid.org/0000-0003-2861-4015>

Chiclayo, 2026

Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de goma de nopal

PRESENTADA POR
Oscar Miguel Saavedra Torres

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Roberto Carlos Castillo Velarde
PRESIDENTE

Ángel Alberto Lorren Palomino
SECRETARIO

Anibal Teodoro Díaz Orrego
VOCAL

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, por darme sabiduría, paciencia y fuerza en cada paso de este proceso; a mis padres, Gleydys Torres y Miguel Saavedra, por su amor incondicional, esfuerzo y apoyo constante; a mis hermanas, Alexa y Ángela, por su aliento y confianza. Y a mi pareja, por su compañía, consejos y energía positiva en los momentos difíciles. A mis amigos y seres queridos, por estar siempre a mi lado. Este logro me lo dedico a mí, por mi lucha y constancia por ser mejor cada día, por mis ganas de mejorar mi país y el mundo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado durante este proceso. A mi asesor de tesis, por su invaluable orientación y apoyo. A mis profesores, por compartir su conocimiento y por guiarme en cada etapa de mi formación. A mi familia, por ser mi pilar fundamental, brindándome siempre su amor, comprensión y aliento incondicional. A mis amigos, por su apoyo constante en los momentos más difíciles. Este trabajo es el resultado de su confianza y sacrificio, y sin ellos, no hubiera sido posible llegar hasta aquí. ¡Gracias de corazón!

Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de goma de nopal

INFORME DE ORIGINALIDAD

18% INDICE DE SIMILITUD	17% FUENTES DE INTERNET	2% PUBLICACIONES	5% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	documentop.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
10	repositorio.upn.edu.pe	

Índice

Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Revisión de la literatura.....	15
Antecedentes	15
Bases teóricas	21
DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	38
Materiales y métodos	39
Tipo y diseño de investigación.....	39
Población, muestra y muestreo	40
Variables y operacionalización	45
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	47
Procedimiento para demostrar la hipótesis	48
Resultados y discusión	65
Conclusiones	90
Recomendaciones	91
Referencias.....	92
Anexos	97

Lista de Tablas

TABLA I	Parámetros para los agregados gruesos.....	24
TABLA II	Parámetros para los agregados finos	25
TABLA III	Parámetros de gradación.....	25
TABLA IV	Selección del tipo de cemento asfáltico	26
TABLA V	Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	26
TABLA VI	Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad	27
TABLA VII	Parámetros para mezcla bituminosa	27
TABLA VIII	PROPIEDADES DE LA GOMA DE NOPAL	29
TABLA IX	ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR	41
TABLA X	CUADRO ANOVA.....	41
TABLA XI	Ensayo Marshal	42
TABLA XII	Ensayo Cántabro.....	43
TABLA XIII	Ensayo Cántabro a 60°C	43
TABLA XIV	Ensayo de Lottman Modificado	44
TABLA XV	Ensayo de recuperación elástica por torsión.....	44
TABLA XVI	Operacionalización de variables	45
TABLA XVII	Granulometría de agregados	65
TABLA XVIII	Resultado de abrasión de los ángeles del agregado grueso.....	66
TABLA XIX	Resultado de peso específico y absorción del agregado grueso.....	66
TABLA XX	Resultado de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso	67
TABLA XXI	Resultado de las partículas chatas y alargadas del agregado grueso.....	67
TABLA XXII	Resultado de las caras fracturadas del agregado grueso.....	68
TABLA XXIII	Resultado de sales solubles del agregado grueso.....	68
TABLA XXIV	Resultado de sales solubles del agregado fino	69
TABLA XXV	Resultado del peso específico y absorción de agregados finos	69
TABLA XXVI	Resultado de límites de atterberg del agregado fino	69

TABLA XXVII Resultado de sales solubles del agregado fino.....	70
TABLA XXVIII Resultado de azul de metileno del agregado fino.....	70
TABLA XXIX Resultado de durabilidad del agregado fino.....	71
TABLA XXX Resultado del ensayo rice de la muestra patrón.....	71
TABLA XXXI Resultado del ensayo Marshall según porcentaje de CA	72
TABLA XXXII Resultado del ensayo rice con la adición del 0.5% de nopal.....	73
TABLA XXXIII Resultado del ensayo Marshall con la adición del 0.5% de nopal	74
TABLA XXXIV Resultado del ensayo rice con la adición del 1% de nopal.....	75
TABLA XXXV Resultado del ensayo Marshall con la adición del 1% de nopal	76
TABLA XXXVI Resultado del ensayo rice con la adición del 1.5% de nopal.....	76
TABLA XXXVII Resultado del ensayo Marshall con la adición del 1.5% de nopal	77
TABLA XXXVIII Resultado del ensayo rice con la adición del 2% de nopal.....	78
TABLA XXXIX Resultado del ensayo Marshall con la adición del 2% de nopal	79
TABLA XL Resultado del ensayo Lottman Modificado convencional	79
TABLA XLI Resultado del ensayo Lottman con el 1% de nopal.....	81
TABLA XLII Resultado del ensayo Cantabro a 24° con el 1% de nopal.....	83
TABLA XLIII Resultado del ensayo Cantabro a 60° con el 1% de nopal	84
TABLA XLIV Resultado del ensayo de recuperación elástica convencional primera vuelta	85
TABLA XLV Resultado del ensayo de recuperación elástica convencional segunda vuelta	85
TABLA XLVI Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% tercera vuelta	85
TABLA XLVII Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% primera vuelta.....	86
TABLA XLVIII Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% segunda vuelta.....	86
TABLA XLIX Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% tercera vuelta	87

Lista de Figuras

Fig 1. Procedimiento para demostrar la hipótesis	48
Fig 2. Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles	49
Fig 3. Ensayo de la gravedad específica y absorción del agregado grueso	50
Fig 4. Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.....	51
Fig 5. Ensayo las partículas chatas y alargadas del agregado grueso	51
Fig 6. Ensayo equivalente de piedra	52
Fig 7. Ensayo equivalente de arena.....	52
Fig 8. Ensayo de gravedad específica y absorción.....	53
Fig 9. Ensayo de límites de atterberg	53
Fig 10. Ensayo de sales solubles totales	54
Fig 11. Ensayo de azul de metileno	54
Fig 12. Ensayo de granulometría	55
Fig 11. Mezcla de agregados.....	56
Fig 14. Homogenización de mezcla asfáltica.....	56
Fig 15. Chuceo de briquetas.....	57
Fig 16. Compactación de briquetas.....	57
Fig 17. Desmoldado de las briquetas	58
Fig 18. Ensayo Marshall al 0.5% y 1% de goma nopal	58
Fig 19. Ensayo Marshall al 1.5% y 2% de goma nopal	59
Fig 20. Briquetas para determinar el OCA	59
Fig 21. Briquetas de la mezcla patrón y mezcla con adición de goma nopal	60
Fig 22. Ensayo del peso específico de las briquetas	60
Fig 23. Ensayo del peso específico de las briquetas	61
Fig 23. Ensayo Rice	62

Resumen

El presente proyecto tiene como idea principal evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de Goma Nopal. La metodología empleada fue un diseño experimental que consistió en añadir porcentajes de goma de nopal del 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. Los resultados mostraron que la adición del 1% de goma de nopal en la mezcla bituminosa en caliente alcanzó un comportamiento mecánico óptimo. El ensayo Marshall, mostró una estabilidad máxima registrada de 5930 kg. Por otro lado el ensayo de lottman mostró una resistencia de 2.93 kg/cm² en condiciones sumergidas y 3.61 kg/cm² en condiciones secas. El ensayo cántabro, presentó una pérdida por desgaste que disminuyó a 9.20% a 24°C y 29.07% a 60°C, demostrando una mejora en la durabilidad y cohesión. De igual manera, la recuperación elástica evidenció deformaciones máximas entre 2472 mm y 2786 mm, señalando una mayor flexibilidad del ligante modificado. Concluyendo que el 1% de la goma de nopal mejoró la estabilidad, resistencia y comportamiento elástico de la mezcla, garantizando una buena sostenibilidad para su uso en pavimentos flexibles.

Palabras claves: Goma nopal, mezcla bituminosa en caliente, resistencia, recuperación elástica, durabilidad

Abstract

The main objective of this project is to evaluate the mechanical behavior of bituminous mixtures for flexible pavements with the incorporation of Nopal Rubber. The methodology used was an experimental design that consisted of adding percentages of nopal rubber of 0.5%, 1%, 1.5% and 2%. The results showed that the addition of 1% of nopal rubber in the hot bituminous mix achieved optimal mechanical behavior. The Marshall test showed a maximum recorded stability of 5930 kg. On the other hand, the Lottman test showed a resistance of 2.93 kg/cm² in submerged conditions and 3.61 kg/cm² in dry conditions. The Cantabrian test showed a loss due to wear that decreased to 9.20% at 24 ° C and 29.07% at 60 ° C, demonstrating an improvement in durability and cohesion. Similarly, elastic recovery showed maximum strains between 2472 mm and 2786 mm, indicating greater flexibility of the modified binder. The conclusion is that the 1% addition of cactus gum improved the stability, strength, and elastic behavior of the mixture, ensuring good sustainability for use in flexible pavements.

Keywords: Nopal rubber, hot mix bituminous material, strength, elastic recovery, durability

Introducción

A nivel mundial, la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos asfálticos han sido objeto de preocupación, particularmente debido a problemas como el agrietamiento y la formación de surcos. En China, estos problemas se han vuelto particularmente notables debido a que las mezclas bituminosas no cumplen con los múltiples criterios de rendimiento, que a menudo están en conflicto, lo que compromete el desempeño general de los pavimentos flexibles [1]. Por otro lado, durante su vida útil, estos pavimentos enfrentan un deterioro adicional causado por la carga constante de vehículos y las condiciones climáticas adversas, manifestándose problemas como el ahuellamiento y las grietas por fatiga, que agravan el desgaste de los pavimentos y presentan nuevos desafíos para su mantenimiento [2].

Ahora bien, otro desafío significativo para las mezclas asfálticas es su capacidad para resistir el ahuellamiento en áreas con altos niveles de tráfico, donde estudios revelaron que su rendimiento puede verse afectado por el incremento de cargas vehiculares y las condiciones climáticas extremas, lo que conduce a fallas como la deformación permanente y una mayor susceptibilidad a la humedad [3].

Según [4], se identificó que las mezclas bituminosas enfrentaron el desafío de la deformación prematura de surcos debido a las elevadas temperaturas y el constante peso de los vehículos que circulan sobre ellas, lo que afectó la durabilidad de las carreteras. Para enfrentar este problema, el estudio buscó emplear alternativas sostenibles con el fin de mejorar la capacidad de las mezclas para evitar la formación de surcos y garantizar un pavimento duradero y funcional.

En Perú, las capas asfálticas de las infraestructuras viales han experimentado un envejecimiento prematuro, evidenciado por hundimientos, baches y ahuellamientos. Estos problemas afectan la transitabilidad de vehículos y no cumplen con la vida útil esperada de las mezclas asfálticas, siendo la fisuración y el agrietamiento las causas principales de estos deterioros, comprometiendo la durabilidad del pavimento flexible [5]. En cuanto a INDECI, en el año 2023 se registraron 4,907,493.59 km de carreteras destruidas debido a las intensas lluvias que afectaron el territorio peruano [6]. Este fenómeno ocurre porque el pavimento, al estar expuesto a la acción prolongada del agua, sufre procesos de degradación que afectan su estructura, afectando la transitabilidad de las vías, contribuyendo a la disgregación del asfalto, un componente crucial de la mezcla bituminosa [7].

El siguiente punto es que, en climas cálidos, como la costa y selva peruana, el asfalto puede presentar un comportamiento elástico limitado. Estas propiedades provocan deformaciones

permanentes bajo cargas repetidas del tránsito, contribuyendo a fenómenos como el ahuellamiento y el deterioro del pavimento flexible [8].

La ciudad de Chiclayo se enfrenta a problemas en su infraestructura vial debido a la creciente carga de tráfico y condiciones ambientales. Dado que las mezclas asfálticas empleadas presentan una falta de estabilidad, lo que lleva a deformaciones y fallas en los pavimentos, subrayando la necesidad de mejorar sus propiedades para garantizar una mejor durabilidad y desempeño [9]. De igual manera, en las vías del Pueblo Joven Diego Ferré se observan problemas de deterioro, huecos y baches, que dificultan la transitabilidad de los vehículos, resaltando la necesidad de mejorar las mezclas asfálticas para resolver estos problemas de infraestructura y asegurar un pavimento más duradero y óptimo [10].

Es por eso por lo que en el presente proyecto se estudiará la goma nopal para evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexible, con la finalidad de mejorar su rendimiento y disminuir los costos a largo plazo. Esta innovación podría contribuir a una infraestructura más resiliente y ecológica, extendiendo su vida útil del pavimento y disminuyendo la necesidad de reparaciones y reemplazos frecuentes. Esto lleva a minimizar el impacto ambiental asociado con la producción y transporte de materiales de pavimentación.

A partir de la problemática mencionada se propuso la siguiente pregunta: ¿Cómo afecta la incorporación de goma Nopal el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles?. En respuesta a esta pregunta, se formuló la siguiente hipótesis: La incorporación de Goma Nopal mejorará el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles.

Ante todo esto, se planteó un objetivo general con respecto a la investigación de Evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de Goma Nopal.

También se plantearon objetivos específicos como: Caracterizar la goma Nopal y los agregados a utilizar para el diseño de mezclas bituminosas en caliente, Analizar la estabilidad y flujo Marshall de una mezcla bituminosa en caliente convencional y mezcla bituminosa en caliente con goma Nopal, Determinar la pérdida por desgaste y la resistencia a la humedad inducida en una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y en una mezcla con la incorporación óptima de goma Nopal, Medir la recuperación elástica por torsión de una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y de una mezcla con la incorporación óptima de goma Nopal.

En consecuencia, lo que abarca la investigación acerca de su justificación:

Desde una perspectiva teórica, este proyecto ampliará el conocimiento sobre pavimentos flexibles al incluir goma Nopal como aditivo en mezclas bituminosas, lo que facilitará el estudio de su influencia en el comportamiento mecánico y la longevidad de los pavimentos.

En el contexto económico, la investigación sobre la utilización de goma de Nopal en pavimentos flexibles tiene como objetivo principal la reducción de costos a largo plazo mediante la optimización del rendimiento de las mezclas bituminosas. Este enfoque busca disminuir la frecuencia de reparaciones y sustituciones, contribuyendo así a una mayor sostenibilidad en la infraestructura vial. Este enfoque facilitará una gestión más eficiente de los recursos asignados a la infraestructura vial, así como la disponibilidad de fondos que podrán ser redirigidos hacia otras obras que se consideren prioritarias para la comunidad. Se propone que la utilización de este insumo local podría reducir los costos de producción en comparación con los aditivos convencionales de importación.

Desde el punto de vista ecológico, la inclusión de goma de nopal en mezclas asfálticas promueve la posibilidad de extender la durabilidad de los pavimentos y disminuir la necesidad de nuevos materiales. Esta práctica contribuye a la reducción del impacto ambiental asociado a la fabricación y transporte de dichos materiales. Asimismo, constituye una estrategia para la valorización de un recurso natural renovable, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo la huella de carbono en el sector de la construcción. La utilización de insumos biodegradables promueve la adopción de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

En lo social, el proyecto tiene como objetivo contribuir a la mejora de la calidad y la seguridad de las infraestructuras viales. La implementación de pavimentos más duraderos contribuirá a una mayor seguridad vial al reducir la incidencia de accidentes ocasionados por deformaciones o baches. Además, esta mejora permitirá minimizar las molestias experimentadas por los usuarios debido a la necesidad de mantenimientos frecuentes. Este enfoque generará un entorno más propicio y seguro tanto para conductores como para peatones, al mismo tiempo que fomentará la conectividad entre diversas poblaciones. Esto facilitará el acceso a servicios básicos, al comercio y al desarrollo regional.

En lo científico, el presente estudio tiene como objetivo profundizar en las nuevas aplicaciones de la goma de nopal en la construcción de pavimentos. A través de este análisis, se generarán datos empíricos que respaldarán teorías relacionadas con la mejora de las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas. Asimismo, se establecerán nuevas líneas de investigación en la aplicación de aditivos innovadores de origen natural, lo que fomentará la generación de conocimiento en el ámbito de la ingeniería vial. Esta contribución académica

representa un recurso valioso para investigaciones futuras y para la formación de profesionales que adopten una perspectiva más sostenible en el ámbito de la construcción de carreteras.

En lo práctico, la incorporación de goma de nopal en mezclas asfálticas representa una alternativa viable y replicable en el ámbito de los proyectos de pavimentación. Se presentará como una alternativa directa a los materiales convencionales, evidenciando su viabilidad en proyectos de pequeña, mediana y gran escala. Se presentará un modelo de innovación tecnológica que puede ser implementado por municipalidades, gobiernos regionales y empresas constructoras. Este modelo favorecerá la transferencia de conocimientos y el desarrollo de proyectos piloto, los cuales podrán servir como referencia para su uso generalizado en el país.

Revisión de la literatura

Antecedentes

Ahyudanari et al. [11], en 2024, en su artículo “Chemical, morphological, and rheological properties of biopolymer-modified asphalt containing waste polystyrene and pine resin”, plantearon como idea principal examinar las propiedades del asfalto modificado con biopolímeros, mezclando asfalto convencional con el biopolímero de resina de pino. Adoptaron por metodología un diseño experimental, donde tuvieron dosificaciones de 4%, 6% y 8%. Los resultados encontrados revelaron que este biopolímero en una dosificación del 6% y 8% lograron mejorar el rendimiento del ligante asfáltico convencional, alcanzando niveles equivalentes de PG 64 y PG 70, lo que indica un aumento en su resistencia a temperaturas más altas y una mejora en las propiedades del asfalto. Concluyeron que la combinación de este biopolímero aumentó la compatibilidad del asfalto modificado, lo que ayudó a minimizar el problema de incompatibilidad y mejorar sus propiedades mecánicas. Este estudio aporta al demostrar cómo el uso de biopolímeros mejora las propiedades mecánicas y ecológicas del asfalto, lo que facilitará evaluar la efectividad de la goma de nopal en la mejora del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas.

Kordani et al. [12], en 2021, en su estudio “The effect of super performance grade (SPG) polymer on properties of bitumen and hot mix asphalt (HMA)”, plantearon como propósito principal mejorar la resistencia a la humedad y formación de surcos con el polímero SPG en mezclas asfálticas. Contemplaron por metodología un diseño experimental, donde se prepararon 4 tipos de mezclas asfálticas en caliente añadiendo betún PG 58-22, reemplazando un 20%, 30%, 40% y 50% del ligante asfáltico con el polímero SPG. Además se realizaron pruebas para medir las propiedades de las mezclas asfálticas. Los resultados alcanzados fueron que la adición de SPG mejoró notablemente las propiedades y resistencia de las mezclas. Primero en el ensayo Marshall, las mezclas con 40% y 50% de SPG alcanzaron valores de estabilidad de 1,100 kg a 1,200 kg, en comparación con la mezcla patrón la cual registró 850 kg. En el ensayo a la tracción indirecta, los porcentajes de 40% y 50% de SPG obtuvieron resistencia de 800 kPa y 850 kPa, respectivamente, frente a los 700 kPa de la mezcla patrón. En cuanto a la susceptibilidad por humedad, medida por medio de la relación de resistencia a la tracción, con la adición del SPG presentaron un TSR superior al 85%, en comparación con la mezcla patrón que registró un 75% y por último la formación de surcos disminuyó en un 20% en las mezclas con polímero. Concluyeron que el uso de este polímero mejoró las propiedades

de las mezclas asfálticas como el comportamiento físico y mecánico. Este estudio es relevante, ya que aporta datos sobre el comportamiento mecánico, una variable clave que también se considerará, sirviendo como base para analizar si la goma nopal produce efectos similares o superiores.

Ratna et al. [13], en 2024, en su artículo “Performance Comparison of Conventional and Biopolymer-modified Asphalt Mixtures for Airport Pavement.”, tuvieron como propósito comparar el rendimiento de mezclas bituminosas convencionales y aquellas modificadas con biopolímeros y polímeros en condiciones de alta temperatura y carga pesada. Contemplaron por metodología un diseño experimental, donde los porcentajes de polímero PP en porcentajes de 5% a 15% y el biopolímero de resina de pino con una dosificación del 3%. Los resultados alcanzados mostraron un aumento del PG 64 y PG 82. En el ensayo Marshall, las mezclas modificadas lograron valores de estabilidad de 1,200 a 1,300 kg superando los 950 kg en comparación con las mezclas convencionales. En el ensayo de tracción indirecta, las resistencias fueron de 900 kPa para la muestra modificada, en comparación con 750 kPa para la muestra patrón y por último la pérdida de cántabro se redujo en un 25% en las mezclas bituminosas. Concluyeron que estas mezclas con biopolímeros presentaron una mayor estabilidad, resistencia a la tracción y menor susceptibilidad al daño por humedad en comparación con la muestra patrón. Este antecedente es relevante, ya que ofrece un análisis de como al añadir un biopolímero natural pueden mejorar las propiedades mecánicas y elásticas de las mezclas bituminosas.

Guerrero y Orozco [14], en 2021, en su tesis” Efecto de la adición de tanino en la reología y las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente - Huancayo 2021”, Se propusieron analizar el impacto del compuesto fenólico extraído de la *Caesalpinia spinosa* para optimizar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica. La metodología empleada fue de un diseño experimental, donde emplearon un diseño que abarcó un total de 72 briquetas para cumplir con los objetivos planteados, al igual que se utilizó un ligante asfáltico PEN 85-100 y muestras de asfalto modificado con dosificaciones de 5%, 10%, 15% y 20%. Los resultados encontrados reflejaron que este material, contribuyó positivamente en mejorar las características físicas del asfalto, como la viscosidad, la susceptibilidad térmica, la ductilidad y la recuperación elástica. Sin embargo, al añadir las dosificaciones del 15% y 20% suavizaron en exceso el ligante asfáltico. Es por eso por lo que la dosificación óptima de este insumo fue del 10%, proporcionando mayor estabilidad y flujo en el cemento asfáltico. Concluyó que la adición de este material mejoro considerablemente las propiedades de estas mezclas. Este estudio aporta

sobre la utilización del tanino como aditivo natural en mezclas asfálticas, rescatando aspectos que podrían ser comparados al añadir goma nopal.

Machacuay [15], en 2023, en su tesis “Adición de cellulose pellets para la mejora del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tibias, Huancayo 2022”, tuvo como objetivo demostrar que la incorporación del aditivo pellets mejora el comportamiento mecánica y la resistencia al daño por humedad de las mezclas bituminosas. El estudio siguió un enfoque experimental, en la que se elaboraron briquetas compactadas a 130°C con la adición de 0.15% de tensoactivo zycothem y distintos porcentajes de cellulose pellets de 0.5%, 0.8% y 0.95% en relación al peso total de la mezcla. Los resultados mostraron que la adición del aditivo cellulose pellets al 0.8% incrementó la estabilidad en un 22.8% y redujo el flujo en un 21.2%, con respecto a la mezcla sin aditivos. Además, la adherencia disminuyó en un 60% con el método UCL. En cuanto a la resistencia al daño por humedad, al acondicionar las muestras a 25°C, esta mejoró en un 11.2% y a 60°C, en un 22.3%. Concluyó que este aditivo mejoró las propiedades de las mezclas bituminosas y su resistencia al daño por humedad de las mezclas asfálticas en caliente sin comprometer su trabajabilidad. Del antecedente se rescata la metodología de evaluación de parámetros como estabilidad, flujo, adherencia y resistencia al daño por humedad, que pueden ser útiles en mi estudio. Sin embargo, mi investigación aporta el uso de goma de nopal un aditivo diferente que podría ofrecer mejores resultados en términos de trabajabilidad y resistencia.

Talledo [16], en 2024, en su tesis “Influencia de la adición de poliuretano termoplástico granulado en el comportamiento elástico de mezclas asfálticas para pavimentos”, tuvo como idea optimizar las propiedades del asfalto y extender la vida útil de los pavimentos mediante la incorporación del elastómero Poliuretano. La metodología empleada fue de un diseño experimental, donde añadieron distintos porcentajes de 5%, 10% y 15% de TPU. Los resultados mostraron que el incremento de TPU mejoró el punto de inflamación (con valores de 237°C, 241°C y 246°C para 5%, 10% y 15%, respectivamente) y disminuyó la penetración, lo que mejoró la consistencia del asfalto. Asimismo, la elasticidad torsional aumentó con el contenido de TPU, logrando valores de 5.6%, 6.1% y 6.7% según el porcentaje añadido, mientras que el asfalto convencional no mostró elasticidad. Con el ensayo Marshall, la estabilidad aumentó significativamente, alcanzando 2000 kg para tráfico ligero y hasta 2570 kg para tráfico pesado al añadir 15% de TPU. Concluyó que este insumo resultó mejorar considerablemente las propiedades mecánicas y resistencia a la fatiga, especialmente bajo condiciones de tráfico pesado. Este antecedente resalta la importancia de utilizar el ensayo Marshall para evaluar la

estabilidad y flujo de mezclas bituminosas. Lo cual aplicaré para analizar los efectos en este caso de la goma de nopal en el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas.

Atezana [17], en 2024, en su tesis “Propiedades físicas de mezclas asfálticas en caliente adicionando poliestireno expandido, Huancayo – 2020”, tuvieron como propósito principal llevar a cabo evaluar como varían las propiedades de las mezclas al añadir poliestireno expandido en las mezclas. Su metodología a emplear fue un diseño experimental. Los resultados mostraron que el ensayo Marshall alcanzo un flujo entre 9.36%, en términos de estabilidad, las variaciones alcanzaron un 39.31%. Por último, el ensayo de Cántabro logró pérdidas de desgaste que variaron desde -8.92% a -42.62%. Concluyó que las propiedades de las mezclas mejoraron al añadir el poliestireno expandido con la dosificación del 0.20%, además es una alternativa sostenible ya que al aplicar este biopolímero pueden ser utilizados como base para investigaciones futuras.

Rivera [18], en 2023, en su tesis “Estudio comparativo del comportamiento mecanico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando fibra de poliéster y una mezcla asfáltica convencional”, tuvieron como propósito ideal mejorar la mezcla convencional al añadir fibra de poliéster. El estudio tuvo como método un diseño experimental. Los resultados alcanzados mostraron que la estabilidad incrementó en un 0.29%, pasando de 1562kg a 2010kg, y la deformación se redujo un 0.03% cuando añadieron la fibra de poliéster en una proporción de 0.10%, variando de 9.3 a 9.0. Por último se observaron mejoras en la evaluación de pérdida por desgaste. Concluyó que la adición de este tipo de fibras mejoró las propiedades a diferencia de una mezcla convencional, siendo una alternativa para reducir la deformación y aumentar la estabilidad.

Tanta [19], en 2023, en su tesis titulada “Influencia del mucílago de nopal en el mejoramiento de la subrasante de suelo arcilloso de la carretera Rosario-Sivia, Ayacucho, 2022”, tuvo como objetivo evaluar la repercusión de la incorporación de mucílago de nopal en la optimización de la subrasante específica. La metodología empleada fue de tipo cuantitativa, con un diseño experimental completo y un alcance explicativo considerable. La población seleccionada se constituyó por la subrasante de la carretera Rosario-Sivia, y la muestra se conformó de cuatro calicatas de 1,5 metros de profundidad situadas en los kilómetros 14+750, 15+250, 16+500 y 17+750 respectivamente. Se realizaron a cabo evaluaciones en granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado, resistencia a la compresión simple y CBR, utilizando diversos porcentajes de mucílago de nopal (0%, 3%, 6% y 9%) como aditivo. Los resultados obtenidos evidenciaron un incremento progresivo en la resistencia a la compresión simple, registrando valores de 3.4 Kg/cm², 8.5 Kg/cm², 18.2 Kg/cm² y 25.9 Kg/cm² respectivamente; el coeficiente de resistencia al 95% de la densidad máxima seca también experimentó un aumento,

registrando valores de 3.6%, 7.4%, 10.1% y 14.3%. Además, se observará un incremento en el contenido óptimo de humedad (24.1%, 25.3%, 28.3% y 29.7%) y una reducción en la densidad seca máxima (1.655 Tn/m³, 1.600 Tn/m³, 1.581 Tn/m³ y 1.566 Tn/m³) a medida que se incrementaba la dosificación del mucílago. Concluyó que la subrasante del suelo arcilloso puede ser optimizado tanto física como mecánicamente mediante la incorporación óptima del 9% de mucílago de nopal en relación con el peso seco del suelo. El aporte de este estudio a la presente investigación es la evidencia cuantitativa de la efectividad del mucílago de nopal como agente estabilizante natural en suelos arcillosos, respaldando su implementación como opción sostenible en la optimización de subrasantes.

León [20], en 2021, en su tesis titulada “Efecto de la Adición de mucílago de Nopal para Estabilización del Suelo Arcilloso en la Zona de Shecta-Independencia-Huaraz”, tuvo como objetivo determinar la influencia del mucílago de nopal en la estabilización de la subrasante del suelo arcilloso en la región de Shecta. La metodología empleada se basó en el método científico, siendo una investigación de tipo aplicada, con un diseño experimental y un nivel descriptivo y explicativo. La población fue constituida por los suelos arcillosos presentes en la región de Shecta, ubicada en el distrito de Independencia, Huaraz. Mediante la investigación, se contrastó la hipótesis inicial y se corroboró que la incorporación del mucílago de nopal optimiza de manera significativa las características físicas y mecánicas del suelo, facilitando su cumplimiento con los criterios estipulados en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones para su utilización como subrasante. Concluyó que la correcta administración de mucílago de nopal facilita la estabilización del suelo arcilloso, optimizando sus condiciones para la edificación de vías. El aporte de este estudio a la presente investigación se trata de la comprobación de la eficacia del mucílago de nopal como estabilizador no convencional, consolidando su potencial como opción sostenible en el campo de la ingeniería vial para suelos de problemas.

Valverde y Villalobos [21], en 2022, en su tesis titulada “Evaluación de las propiedades del adobe con goma de nopal (tuna) y aserrín en Pisco-Ancash-2020”, tuvieron como objetivo determinar si la incorporación de goma de nopal (tuna) y aserrín mejora las propiedades del adobe en dicha localidad. La metodología empleada fue de tipo experimental, y consistió en la elaboración de bloques de adobe con adiciones de goma de nopal en proporciones del 10%, 15% y 20%, y aserrín en porcentajes de 2.5%, 4.5% y 6.5%. Estas muestras fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, flexión y porcentaje de absorción, cuyos resultados fueron comparados con los de una muestra patrón sin estabilizantes. Los resultados obtenidos demostraron que las muestras con estabilizantes naturales presentaron un mejor

comportamiento frente a factores ambientales como la lluvia, inundaciones, sismos, frío y viento, superando en desempeño a los adobes convencionales. Concluyeron que la adición de goma de nopal y aserrín mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas del adobe, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos e hipótesis planteadas. El aporte de este estudio a la presente investigación es la evidencia experimental del potencial de la goma de nopal como estabilizante natural, no solo en suelos, sino también en materiales de construcción como el adobe, lo que refuerza su versatilidad y eficacia en soluciones sostenibles.

Espinosa et.al [22], en 2021, en su tesis titulada “Evaluación de Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de Maguey (*Agave salmiana*) en Formulaciones Espumantes para Remoción de Hidrocarburos en Suelos Contaminados”, tuvieron como objetivo realizar una evaluación del impacto del mucílago de nopal y de maguey como agentes viscosificantes en formulaciones espumantes destinadas a la eliminación de hidrocarburos en terrenos contaminados. La metodología consistió en La obtención del mucílago de ambas especies vegetales, la formulación de formulaciones espumantes, y la evaluación subsiguiente de su estabilidad y efectividad. Se empleó un método experimental para examinar la conducta de las espumas producidas. Los hallazgos indicaron que la estabilidad de las espumas se incrementa en relación con la concentración de mucílago de nopal, mientras que el mucílago de maguey no contribuye de manera significativa a dicha estabilidad. Además, se corroboró que las espumas de mayor estabilidad, producidas con mucílago de nopal, son más eficaces en la eliminación de componentes fuertemente adheridos a los granos del suelo, sin tener en cuenta la concentración de tensoactivo empleado. Concluyeron que el mucílago de nopal se presenta como un aditivo eficiente para potenciar la estabilidad de las espumas empleadas en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, particularmente aquellos de fracción media y pesada. El aporte de este estudio a la presente investigación presenta la prueba empírica de la capacidad operativa del mucílago de nopal como agente viscosificante natural, que no solo optimiza las propiedades físicas en entornos coloidales, sino que también manifiesta aplicaciones ambientales significativas, consolidando su reconocimiento como un material natural versátil y sostenible.

Bases teóricas

Pavimentos flexibles

Estos pavimentos están formados por una capa superficial de mezcla asfáltica, lo que hace que también se les conozca como pavimentos asfálticos. Asimismo, su costo de construcción inicial es baja y requieren un mantenimiento frecuente para asegurar que cumplan con su vida útil [23].

Los pavimentos flexibles, como revestimientos asfálticos, están diseñados específicamente para adaptarse a diferentes cargas y condiciones de tráfico. En contraste con los pavimentos rígidos, estos sistemas se basan en la habilidad de los materiales para dispersar y reducir las presiones mediante un montaje de capas. Esto posibilita que, a pesar de que las fuerzas se ejercen sobre la superficie, su influencia disminuya gradualmente al pasar a las capas inferiores. [24]

Estructura de Capas del Pavimento

La edificación de este tipo de pavimento se estructura en Múltiples niveles, cada uno desempeñando un papel específico en la resistencia y longevidad total del sistema: [24]

Capa de rodadura:

Esta es la capa que está directamente en contacto con el tráfico, fabricada con mezclas asfálticas que garantizan una superficie homogénea y resistente al deterioro. Además, su composición facilita su flexibilidad y proporciona una excelente adherencia frente a las cargas de los vehículos y factores del entorno. [24]

Capa base:

Situada precisamente debajo de la capa de rodadura, su tarea es repartir el peso del tráfico hacia las capas más profundas. Está formado por agregados, que pueden estar estabilizados o no, y resulta crucial para proporcionar un soporte uniforme a lo largo de todo el pavimento. La calidad y el grosor de esta capa son esenciales para resistir cargas elevadas sin sufrir deformaciones anticipadas. [24]

Capa sub base (según sea necesario):

En ciertos momentos, se agrega una capa subbase para optimizar la distribución de la carga, especialmente en terrenos o circunstancias que requieran un refuerzo extra. Esta capa incrementa la estabilidad total del pavimento, contribuyendo a suavizar las tensiones que se propagan a una mayor profundidad [24]

Fundamentos de Diseño y Operación

El diseño del pavimento se basa en la idea de que la presión aplicada en la superficie se reduce a medida que se reparte en zonas cada vez más amplias dentro del sistema. Este método es crucial para: [24]

Dispersión de cargas:

La estructura de múltiples capas garantiza que la presión del tráfico no se concentre en un solo lugar, previniendo la formación de fisuras o deformaciones que puedan poner en riesgo la solidez del pavimento. [24]

Adaptabilidad ante condiciones cambiantes:

Este tipo de asfalto, por su habilidad para adaptarse a cargas variables y a las variaciones del entorno, es particularmente beneficioso en zonas urbanas, donde el volumen y la naturaleza del tránsito pueden fluctuar considerablemente a lo largo del tiempo. [24]

Durabilidad y Mantenimiento

Un beneficio destacado es la extensa durabilidad de estos pavimentos, que puede fluctuar entre 8 y 20 años. La duración se basa en elementos como: [24]

Calidad de materiales y mezcla:

Elegir materiales de excelente calidad y un diseño apropiado son cruciales para asegurar que el pavimento pueda resistir el desgaste y las agresiones ambientales [24].

Condiciones de uso y tráfico:

La cantidad y clase de vehículos en movimiento, sumadas a las condiciones meteorológicas, influyen directamente en la eficiencia del pavimento. Por fin, en áreas con tráfico frecuente o condiciones extremas, pueden ser necesarios refuerzos y un mantenimiento regular [24].

Diseño constructivo:

La correcta integración de cada capa y la distribución adecuada de las cargas son factores cruciales para extender la durabilidad del pavimento y evitar inconvenientes estructurales [24].

Mezclas bituminosas

Estas combinaciones se han empleado desde inicios del siglo XX en las capas superficiales de pavimentos flexibles, incluyendo pistas de aterrizaje, carreteras y otras infraestructuras. Esas mezclas se componen de agregados pétreos con una granulometría bien gradada y ligantes asfálticos, como el cemento asfáltico, formando una capa de rodadura duradera y resistente [25].

Mezcla bituminosa en caliente

Se trata de una combinación homogénea de agregados recubiertos con cemento asfáltico. El término en caliente se refiere al proceso de calentar tanto los agregados como el asfalto antes

de la mezcla. Este calentamiento garantiza que los agregados se sequen correctamente y que el ligante adquiera la fluidez correcta que permita una buena trabajabilidad y una mezcla eficaz [25].

Propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas

- **Pérdida por desgaste de una mezcla bituminosa**

Se trata de una evaluación de la resistencia al desgaste superficial de una mezcla asfáltica frente al tráfico vehicular y la influencia del clima. Se lleva a cabo una evaluación mediante el ensayo de desgaste Cantabro, que somete a la mezcla a fuerzas centrífugas en condiciones de seco o húmedo, y se expresa como el porcentaje de masa perdida en relación con el total original. Un porcentaje reducido indica una combinación más robusta y duradera [26].

- **Resistencia a la humedad inducida**

Se trata de la capacidad de una combinación bituminosa para resistir la disminución de la cohesión interna y la adhesión entre el ligante y los agregados cuando se encuentra expuesta al agua. Se lleva a cabo la evaluación utilizando el ensayo de Lottman modificado, que simula condiciones de humedad a través de ciclos de condicionamiento térmico, vacío y congelación [27]

- **Estabilidad y flujo de una mezcla bituminosa**

Se trata de parámetros derivados del ensayo Marshall, empleado en la elaboración y evaluación de mezclas asfálticas [28].

Estabilidad: Se trata de la carga máxima que una muestra puede soportar antes de sufrir deformación. Representa la resistencia estructural de las mezclas [28].

Flujo: Se trata de la deformación total, que experimenta la muestra hasta alcanzar su carga máxima. Evalúa la capacidad de deformación sin fallo, y un equilibrio óptimo entre estabilidad y flujo es fundamental para un rendimiento óptimo en el ámbito de los pavimentos [28].

- **Recuperación elástica por torsión**

Hace alusión a la capacidad del ligante bituminoso modificado, para retomar su forma original tras ser sometido a una deformación por torsiones. Esta conducta es examinada mediante el ensayo de recuperación elástica. Una recuperación elástica elevada indica una resistencia superior a las deformaciones permanentes, como el ahuellamiento, lo cual resulta beneficioso en mezclas sometidas a elevadas cargas o condiciones climáticas extremas [29].

Componentes de las mezclas bituminosas

Están formadas por minerales que provienen de la trituración de rocas, además de un relleno conocido como filler, asfalto y en algunas situaciones específicas, se pueden añadir modificadores o aditivos. La fricción entre estos agregados es crucial, dado que contribuye al desarrollo de las características mecánicas de las mezclas bituminosas. La cual esta cohesión está influenciada por las características del ligante asfáltico, cuyas propiedades reológicas determinan una mejor compactación en la mezcla fina [25].

- **Agregados Pétreos**

Estos agregados utilizados en la realización de tratamientos o mezclas bituminosas deben tener propiedades que aseguren que, al aplicarse una capa de material asfáltico, esta no se desprege debido a la acción del agua o el tránsito [30].

- **Agregado grueso**

Se refiere a la fracción que queda retenida en el tamiz de 4.75 mm. Estos agregados deben proceder de la trituración de roca, siendo sus fragmentos limpios, resistentes y duraderos, evitando la presencia de partículas alargadas, desintegrables o planas. Asimismo, deben estar limpias de polvo, tierra o arcilla, dado que estas impiden la adhesión al asfalto [30].

Se debe seguir los siguientes parámetros mostrados en la TABLA I:

TABLA I
Parámetros para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: EG -2013 [30].

- **Agregado fino**

Estos deben ser resistentes, estar limpios y deben tener una superficie angular y rugosa. Asimismo, el material debe estar exento de cualquier sustancia que pueda obstaculizar la adhesión al asfalto y debe cumplir con los estándares de calidad especificados en cada norma [30].

Asimismo, estos deben estar sujetos a los siguientes parámetros de la TABLA II:

TABLA II
Parámetros para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: EG -2013 [30].

Además, se considera la gradación de los agregados para la preparación de mezclas asfálticas en caliente, tomando en cuenta lo indicado en la TABLA III.

TABLA III
Parámetros de gradación

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: EG -2013 [30].

- **Cemento asfáltico**

Este material es empleado en los riesgos de liga y en las mezclas asfálticas en caliente, las cuales se clasificarán según su viscosidad absoluta y su penetración. Su uso va a depender de cada característica del clima de la región y de la carta de viscosidad correspondiente para el cemento asfáltico [30].

Esto se muestra en la TABLA IV.

TABLA IV
Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: EG -2013 [30].

Los parámetros de calidad del cemento asfáltico son los que se definen en la TABLA V y TABLA VI:

TABLA V
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

Fuente: EG -2013 [30].

TABLA VI
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽¹⁾					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: EG -2013 [30].

- **Filler**

Material utilizado en las mezclas asfálticas para ajustar la granulometría de los agregados finos que no cumplan con los requerimientos adecuados [30].

- **Mezclas de agregados**

Las características de calidad de la mezcla asfáltica deben alinearse con los estándares requeridos para las mezclas bituminosas como se muestra en la TABLA VII [30].

TABLA VII
Parámetros para mezcla bituminosa

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: EG -2013 [30].

Nopal

El nopal (*Opuntia* spp.) es una cactácea compuesta por aproximadamente 300 especies que florece en entornos áridos y semiáridos, aguantando tanto temperaturas extremas como precipitaciones irregulares y variaciones en los niveles de CO₂, debido a su eficaz sistema de almacenamiento de agua en los cladodios. Su elevado nivel de fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos lo hace un recurso valioso para la nutrición humana y la industria forestal. De él se obtiene la goma de nopal, un polisacárido con usos industriales. Además de su antigua utilización como sustento y refugio para la fauna salvaje, también se utiliza habitualmente como refugio y alimento para la fauna silvestre. No obstante, actualmente el mucílago y la goma de nopal se utilizan en varias áreas de la ingeniería, desde la optimización de características mecánicas y durabilidad en materiales de edificación (morteros, adobes y concretos) hasta el tratamiento de aguas, la creación de biopolímeros y revestimientos ecológicos, evidenciando su amplia adaptabilidad y capacidad como biorecurso sustentable. [31]

Mucilago de nopal

El mucílago de nopal es un componente metabólico que se guarda sin perjudicar las células en los cladodios de *Opuntia ficus-indica*. Por otro lado, la goma se presenta como una reacción patológica cuando la planta experimenta estrés (tal como sequías o fracturas de la pared celular), un fenómeno denominado gomosis. En este proceso, la celulosa se degrada gradualmente y se genera un exudado extracelular que, al secarse, genera la goma distintiva. [32]

Goma de nopal

El polisacárido patológico conocido como goma de nopal se produce en la parte de los tallos de la *Opuntia ficus-indica* (nopal), sucediendo cuando la planta experimenta daños debido a sequía o en casos de algún tipo de ruptura celular o infestación. En contraposición al mucílago, es un compuesto metabólico que se almacena en el interior de las células sin perjudicar el tejido de la planta, la goma se produce de forma extracelular (gomosis), causando el daño de la celulosa y la liberación de un gel que se endurece al contacto con el aire. [32]

TABLA VIII
PROPIEDADES DE LA GOMA DE NOPAL

Propiedades de la goma de nopal
Posee propiedades coloidales
Poder de hinchamiento
Insoluble en disolventes orgánicos, alcoholes y éter
Mejora la plasticidad
Incrementa la resistencia mecánica
Reduce la absorción capilar
Buen comportamiento ante la erosión
Favorece una menor permeabilidad al vapor de agua

Distribución y aprovechamiento de la planta

El nopal, también conocido como cactus pera, florece en regiones semisecacas de Perú, México, Brasil, Bolivia, Marruecos y Sudáfrica. Este cactus se adapta a diferentes ecosistemas y sus componentes (raíz, tallo, flor y fruto) son altamente apreciados en sectores como la alimentación, farmacéutica, cosmética y de la edificación. Debido a sus células mucilaginosas, el nopal es cada vez más utilizado como aditivo natural en la industria civil debido a su elevada capacidad para absorber agua y su naturaleza de carbohidrato complejo. [32]

Composición química y propiedades fisicoquímicas

La goma de nopal se compone de heteropolisacáridos de alto peso molecular, entre los que figuran:

Monosacáridos neutros:

- galactosa (40 %)
- arabinosa (42 %)
- ramnosa (13 %)
- xilosa (22 %).

Ácido urónico:

- ácido galacturónico (13 %).

Estos polímeros, en combinación con compuestos fenólicos, ácidos grasos, aminoácidos, proteínas y minerales, otorgan a la goma propiedades de estabilización, emulsión, gelificación y empaquetado. Es insoluble en disolventes orgánicos como el éter o los alcoholes, sin embargo, se elimina con facilidad en agua caliente, generando hexosas y pentosas al hidrolizarse [32].

Extracción manual

A lo largo del tiempo, la recolección de la goma se lleva a cabo a través de cortes superficiales en los troncos con utensilios punzantes, lo que ocasiona la liberación de un gel que, al secar, forma una costra de sellada. Además, la infección del tallo por el coleóptero *Cactophagus spinolae* también provoca la generación de goma. Las hembras sitúan sus huevos en la base de las pencas; después de la eclosión, las larvas penetran el interior del tallo, consumiendo el parénquima y provocando la formación de cúmulos gomosos en la parte exterior. Se pueden detectar entre uno y cinco nódulos por planta, con un peso entre 0,5 y 65 g, dependiendo del nivel de infestación [32].

Funcionalidad y ámbitos de aplicación

El comportamiento de la goma de nopal, debido a su estructura polisacárica, es estabilizante, emulsionante, gelificante y estimulante. Estas características la hacen un aditivo de gran valor para la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y de la construcción, en la que potencia la cohesión, la retención de agua y la resistencia mecánica. A pesar de las investigaciones ya realizadas, es crucial explorar más a fondo su aplicación práctica, ya que su composición química podría parecer más a la del mucílago y proporcionar nuevos beneficios en la preservación arquitectónica y otras aplicaciones. [32]

Fluorescencia de rayos X

La XRF se fundamenta en los fundamentos de la emisión atómica, al igual que otros métodos como la OES, ICP y la espectroscopia gamma basada en la activación de neutrones, lo que posibilita la medición de tanto la longitud de onda como la intensidad de los rayos X que emiten los átomos excitados en la muestra. Con este procedimiento, un haz de rayos X, procedente de un tubo de rayos X, irradia la muestra, lo que conduce a la liberación de rayos X fluorescentes con energías determinadas que reconocen y definen los elementos existentes. [33]

Esta metodología analítica posee varias aplicaciones, que van desde la supervisión de la calidad en diversos procesos industriales hasta su aplicación en la investigación avanzada de nuevos materiales. Por ejemplo, se emplea en el sector metalúrgico para comprobar la composición de las aleaciones, mientras que en el sector electrónico se utiliza para examinar placas de circuito, asegurando que se satisfagan los estándares requeridos. Además, en la elaboración de cemento, la XRF facilita el análisis tanto de las materias primas como del producto final. En el campo de la investigación, es crucial analizar las características de los materiales y crear componentes como los semiconductores, puesto que garantice la pureza y la adecuada composición de los materiales empleados. [33]

Los beneficios de este procedimiento abarcan su elevada exactitud y precisión, la velocidad en la preparación y evaluación de muestras, y su habilidad para ser automatizado en ambientes industriales de gran demanda. Igualmente, la XRF proporciona datos tanto cualitativos como cuantitativos de la composición elemental, lo que la hace una herramienta de gran valor en múltiples usos científicos e industriales. [33]

Ensayos para determinar el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas

Ensayo cántabro – MTC E-515

Es ese ensayo brinda la posibilidad de calcular la pérdida de desgaste de las mezclas bituminosas mediante el uso de la máquina de los ángeles, lo que conlleva la preparación y pesaje de una muestra de la misma. Esta muestra es introducida en el tambor de la máquina con bolas de acero, y se rota a una velocidad determinada durante un período de tiempo determinado. Finalmente, al finalizar el ensayo, se extrae la mezcla, se tamiza para diferenciar las partículas deterioradas y nuevamente se pesa. El cálculo de la pérdida por desgaste se realiza al comparar la masa inicial con la final, representando el resultado como un porcentaje de la inicial. Este método es esencial para valorar la resistencia al deterioro y la longevidad de las mezclas asfálticas. [34].

Equipos y materiales:

- ✓ Ligante asfáltico
- ✓ Mezcla compactada de asfalto
- ✓ Discos de papel de filtro
- ✓ Equipo de compactación
- ✓ Máquina de Los Ángeles
- ✓ Termómetros
- ✓ Balanzas
- ✓ Cámara termostática
- ✓ bandejas
- ✓ recipientes
- ✓ espátulas

Fórmula:

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Nomenclatura

P= Porcentaje de disminución de masa a causa del desgaste.

P1= Peso inicial de la muestra en gramos.

P2= Peso definitivo de la muestra, dado en gramos.

Procedimiento de ensayo

- ✓ Generalmente, la temperatura en la que se lleva a cabo el ensayo debe oscilar entre los 15 y 30 grados Celsius, permitiendo una variación máxima de ± 1 grados Celsius.
- ✓ Se cuantifica la masa de cada muestra con una exactitud de 0,1 g, anotando este resultado como P1. Previo al ensayo, es necesario conservar las sondas a la temperatura preestablecida durante un mínimo de seis horas [34].
- ✓ Posteriormente, se coloca una muestra en el tambor de la máquina de Los Ángeles, sin incluir las bolas abrasivas, y se gira el tambor a una velocidad estándar establecida en la norma MTC E 207 (de 30 a 33 revoluciones por minuto), finalizando un total de 300 giros [34].
- ✓ Tras concluir el ensayo, se extrae la muestra del tambo [34].

Lottman modificado- ASSHTO T283

Se utilizó una versión modificada del método LOTTMAN con la finalidad de medir la adherencia entre los agregados y el ligante. Este método posibilita evaluar la habilidad de las mezclas asfálticas compactadas para soportar los daños causados por la humedad, conforme a las regulaciones actuales. El ensayo simula situaciones auténticas en la obra y ofrece una evaluación numérica de la adherencia. Mediante este procedimiento, se determina la resistencia a la tracción indirecta de las muestras, analizando la disminución de la cohesión en la mezcla a causa de una saturación acelerada con agua, lo que evidencia la resistencia global de la mezcla [35].

Equipos y materiales:

- Congelador
- Balanza
- Probeta graduada
- Prensa con anillo de carga o dinamómetro
- Recipientes
- Bolsas plásticas para sumergir briquetas
- Horno

Procedimiento

- ✓ Una vez curadas o calentadas las muestras de mezcla, se determina la gravedad específica teórica máxima (Gmm). Se mide el espesor (t) y el diámetro (D) de cada probeta. Posteriormente, se calcula la gravedad específica aparente y el volumen (E), o bien el peso saturado en superficie seca, deduciendo el peso del agua en cm³. También se determina el porcentaje de vacíos de aire (Pa) [35].
- ✓ Las muestras se reparten en dos subgrupos de mínimo tres probetas, procurando que ambos tengan promedios similares de vacíos de aire. Las muestras que se someterán a saturación al vacío, ciclos de congelamiento y exposición al agua tibia deben tener previamente determinado el volumen de vacíos de aire (Va) [35].

Fórmula:

$$Va = \frac{Pa \cdot E}{100}$$

Nomenclatura

Va= Cantidad de vacíos de aire, mediada en cm³.

Pa= Proporción de vacíos de aire en %.

E= Capacidad volumétrica del espécimen medida en cm³

Preparación de los materiales de ensayo

Un conjunto de muestras se examinará en seco, mientras que otro estará parcialmente saturado en el vacío, pasado por ciclos de congelación y sumergido en agua tibia antes de la prueba [35]. Las muestras secas se guardarán en recipientes plásticos impermeables a temperatura ambiente, y posteriormente se introducirán en agua a $25 \pm 0,5$ oC durante 2 horas antes del ensayo. Para las muestras saturadas, se ubicarán en un contenedor de vacío con un separador perforado, se cubrirán con agua y se aplicará un vacío de 13-67 KPa durante 5-10 minutos aproximadamente. Después, el vacío se liberará y permanecerá en agua durante otros 5-10 minutos. Al final, se pesarán en un estado saturado con superficie seca (B') y se determinará el volumen de agua absorbida (J') [35].

Fórmulas:

$$J' = B' - A' \qquad S' = \frac{100 \cdot J'}{Va}$$

Nomenclatura

J': Factor de absorción de agua, representado en centímetros cúbicos.

B': En gramos, se mide la masa del espécimen saturado con superficie seca tras el proceso de saturación al vacío.

A': Medidas de la masa del espécimen seco en aire.

S' = Índice de saturación en términos porcentuales

Para determinar el nivel de saturación (S'), es necesario cotejar el volumen de agua absorbida (J') con el volumen de las cavidades de aire (Va).

Procedimiento

- ✓ Si la saturación oscila entre el 70% y el 80%, el experimento continúa. Si es inferior al 70 %, se vuelve a realizar el procedimiento con un periodo de vacío más largo o más largo. Si excede el 80%, el espécimen está deteriorado y debe ser eliminado [35].
- ✓ Cada muestra saturada se cubre con una película plástica para prevenir la pérdida de humedad y se coloca en una bolsa sellada con $10 \pm 0,5$ ml de agua. Esto asegura que el espécimen conserva su nivel de saturación y reproduce las circunstancias de humedad a las que podría estar sometido en la realidad [35].
- ✓ Las muestras son depositadas en un congelador a una temperatura de -18 ± 3 oC durante un mínimo de 16 horas. Este procedimiento imita la influencia de las temperaturas extremas en la unión de la mezcla asfáltica y facilita la evaluación de su resistencia a los ciclos de congelación y descongelación [35].
- ✓ Tras ser congelados, los especímenes se introducen en un recipiente de agua a 60 ± 1 oC durante 24 ± 1 horas, conservando 25 mm de agua sobre su superficie. Este procedimiento agiliza la posible degradación del material, facilitando la valoración de la resistencia de la mezcla en situaciones de calor y humedad. Luego, se eliminan las envolturas de plástico para asegurar que no obstaculicen los resultados finales [35].
- ✓ Después del calor, las muestras son trasladadas a un recipiente de agua a $25 \pm 0,5$ oC durante 2 horas \pm 10 minutos. Este proceso de refrigeración gradual mantiene la temperatura del material estable antes de la evaluación final. Para prevenir que la temperatura del agua exceda los 25 oC, se puede agregar hielo, garantizando que la adaptación no dure más de 15 minutos [35].
- ✓ Una vez estabilizadas, se extraen las briquetas del baño y se realizan las mediciones pertinentes para establecer su resistencia a la tracción y el grado de deterioro estructural después del procedimiento [35].

Ensayo de resistencia a la tracción indirecta ASTM D 6931

Tiene como fin evaluar la resistencia a la tracción de las mezclas asfálticas, aplicando una carga de compresión diametral sobre un cilindro. Este método facilita determinar la capacidad del material para brindar información sobre su durabilidad y rendimiento en condiciones de carga y soportar tensiones [35].

Equipos y materiales:

- Ligante asfáltico
- Prensa de carga
- Moldes para briquetas
- Compactador
- Balanza de laboratorio
- Calibrador o vernier

Fórmulas:

$$RTI = \frac{2P}{\pi hd}$$

Nomenclatura

RTI= Resistencia a tracción indirecta

P=La carga máxima de a ruptura

h=altura

d=diámetro

Procedimiento

- ✓ Inicia con la elaboración de las muestras. Se emplean núcleos de hormigón cilíndricos que se recortan con una máquina de corte hasta llegar a una longitud de 5 cm, conservando un diámetro de 10 cm. Se elaboran tres muestras para cada edad de curación (por ejemplo, 7, 14 y 28 días) [35].
- ✓ Después, se colocan placas de contacto en la generatriz del cilindro, concretamente en su parte superior e inferior, para garantizar una repartición homogénea de la armada cargada. Las pruebas se sitúan de manera horizontal en la prensa hidráulica, que ejerce una presión vertical. Esta carga, al situarse en las puntas del diámetro del cilindro, produce una tensión de tracción indirecta en sentido horizontal [35].
- ✓ Se carga la muestra hasta que sucede la ruptura. En ese instante se anota la carga máxima ejercida, que posteriormente se utiliza para determinar la resistencia a la tracción indirecta del hormigón [35].

Ensayo Marshall – MTC E-504

El objetivo es establecer el diseño de una mezcla bituminosa y calcular sus diferentes parámetros de desempeño, a partir de la elaboración y compactación de muestras de mezcla bituminosa destinadas a pavimentación. [34].

Equipos y materiales:

- Vernier
- Aparato Marshall de carga por compresión
- Horno
- Extractor de probetas
- Compactador
- Molde
- Balanza

Procedimiento:

- ✓ Preparación de los agregados: Es necesario secarse a una temperatura de 105 °C a 110 °C hasta alcanzar un peso estable, después se cortan en segmentos concretos (como 25 a 19 mm, 19 a 12,5 mm, etc.) [34].
- ✓ Determinación de temperaturas de mezcla y compactación: El cemento asfáltico se calienta hasta alcanzar temperaturas que generan viscosidades particulares para mezcla ($0,17 \pm 0,02$ Pa.s) y compactación ($0,28 \pm 0,03$ Pa.s). Para los asfaltos cortados, la temperatura se modifica en función de la viscosidad y el porcentaje de disolvente [34].
- ✓ Preparación de la mezcla: Los agregados son pesados y se calientan hasta alcanzar la temperatura correcta. Después, se combina con el material bituminoso durante un período específico para garantizar una cobertura homogénea [34].
- ✓ Compactación de los especímenes: El molde y el martillo de compactación se calientan, y la mezcla se compacta en el interior del molde mediante impactos precisos con el martillo. El espécimen se refrigera previamente a su extracción [34].
- ✓ Ensayo de estabilidad y flujo: Una vez compactados y refrigerados, se determina el peso específico y el grosor de los especímenes. Los especímenes son calentados a una temperatura determinada y luego se colocan en una máquina de carga para evaluar la carga máxima (estabilidad Marshall) y el flujo (deformación). La carga se impone a un ritmo constante hasta que comienza a reducirse, documentando tanto la carga máxima como el flujo [34].

Recuperación elástica por torsión -MTC E-320

Evaluar el grado de elasticidad de los asfaltos modificados, principalmente aquellos que contienen polímeros, que se emplean en la construcción de carreteras [34].

En el método mencionado, un cilindro de medidas concretas se inserta en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un aparato de torsión, el cilindro gira en 180°, y después de 30 minutos, se cuantifica el ángulo recuperado [34].

En circunstancias específicas de clima, topografía o tráfico, se pueden emplear productos, generalmente polímeros, que se incorporan al ligante asfáltico para alterar sus propiedades y optimizar su desempeño funcional [34].

Materiales y herramientas:

- ✓ Aparato de Torsión
- ✓ Termómetro
- ✓ Temporizador
- ✓ Estufa
- ✓ Cápsulas
- ✓ varillas de vidrio
- ✓ espátula
- ✓ disolventes

Fórmula:

$$Ret = \frac{L}{180} t$$

- L sería el ángulo recuperado

Procedimiento:

- ✓ Se adoptan todas las medidas necesarias para garantizar que la muestra utilizada en el ensayo sea equivalente a la muestra de laboratorio, preservando su uniformidad y previniendo cualquier contaminación [34].
- ✓ Una cantidad correcta de la muestra se calienta meticulosamente, agitando constantemente hasta lograr una consistencia que facilite su conversión [34].
- ✓ El cilindro del dispositivo de torsión se posiciona de tal manera que su base inferior se encuentre a 20 mm del fondo del contenedor para el ensayo, enfocado en el resalte correspondiente en el fondo del baño [34].
- ✓ La muestra se vierte en el contenedor de pruebas en la cantidad adecuada para alinearla con la marca registrada en el cilindro, situada a 10 mm de su base inferior.

- ✓ El conjunto (recipiente y muestra) se deja a temperatura ambiente por un mínimo de 1 hora. Después, el agua se circula en el baño termostático a $25 \pm 0,1$ oC durante al menos 90 minutos, con el objetivo de equilibrar la temperatura del agua y de la muestra. Es necesario que el nivel del agua se encuentre por encima del contenedor con la muestra [34].
- ✓ Después de 90 minutos, se coloca el pasador en el cilindro y se le permite girar 180o en dirección horario, por un periodo de 3 a 5 segundos. Después, se extrae el pasador y, tras 30 minutos ± 15 segundos, se realiza la lectura señalada por la barra situada en la semicorona graduada. El ángulo recuperado al concluir el ensayo es el valor adquirido [34].

DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

1. Baño de agua: Aparato dotado de un regulador de temperatura que facilita la conservación de condiciones térmicas estables. [34].
2. Cántabro (ensayo): Procedimiento empleado para evaluar la disminución de material debido al desgaste en una muestra producida con una mezcla asfáltica. [34]
3. Vacíos: Huecos en una combinación densificada, circundados por partículas revestidas de asfalto. [34]
4. Método lottman: Este procedimiento permite valorar la capacidad de las mezclas asfálticas compactadas para resistir los daños provocados por la humedad, de acuerdo con las normativas vigentes. [26]
5. Goma Nopal: Este polisacárido, que es soluble en agua y se extrae primordialmente de los tallos del nopal, desempeña funciones como espesante, gelificante, estabilizante y antioxidante. [32]
6. Filler: Material empleado en las mezclas asfálticas para modificar la granulometría de los agregados finos que no satisfacen las normas apropiadas. [30].
7. Pavimento flexible: se compone de múltiples capas de materiales (como asfalto y agregados) que, en contraposición a los pavimentos rígidos, tienen la capacidad de deformarse frente a cargas sin romperse, ajustándose al desplazamiento del suelo y al tráfico. [34]
8. Consistencia: La relativa facilidad de fluir y deformarse del suelo [34]
9. Humedad: Indica la cantidad de agua presente en un terreno o material, expresada en términos porcentuales. [34]

10. Pavimentos flexibles: se componen de una capa superficial compuesta por mezcla asfáltica, lo que también les da el nombre de pavimentos asfálticos. Igualmente, su costo inicial de edificación es reducido y necesitan un mantenimiento regular para garantizar que cumplan con su durabilidad. [23].

Materiales y métodos

Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada emplea conceptos para solucionar problemas concretos, fundamentándose en resultados, descubrimientos y propuestas que se elaboran en función del objeto de estudio [36]. En este contexto, se clasifica como una investigación aplicada, debido a que buscará abordar el desempeño insuficiente de los pavimentos flexibles, el cual se debe a que algunas mezclas bituminosas no cumplen con los criterios de rendimiento, afectando su elasticidad y durabilidad. Por lo tanto, se busca mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles mediante la incorporación de goma Nopal.

El alcance explicativo busca descubrir y analizar las consecuencias y causas de los fenómenos en estudio, con el fin de comprender en profundidad las relaciones entre las variables. Se enfoca en detallar los mecanismos que las interrelacionan, brindando una visión clara sobre el porqué y el cómo de determinados eventos [37]. En el contexto de mi tesis, es un alcance explicativo porque se pretende identificar y analizar cómo la incorporación de Goma Nopal afecta el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles.

Según [37], el diseño experimental es aquel que consiste en aplicar condiciones específicas o estímulos a un conjunto de individuos, que actúan como variable independiente, con el fin de analizar y medir las respuestas o efectos resultantes en la variable dependiente. Esto permite determinar cómo las variaciones en la variable independiente afectan los resultados observados en la variable dependiente. En este contexto, la investigación presenta un diseño experimental, ya que se evaluará de manera controlada el efecto de la goma Nopal en las mezclas bituminosas. Se gestionarán los factores de investigación y se desarrollarán técnicas aleatorias, lo que contribuirá a su validez y confiabilidad de los datos, colaborando así a un análisis detallado de la hipótesis formulada.

En el presente estudio se adopta un enfoque cuantitativo con el objetivo de medir, analizar y comparar las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas, tanto con la incorporación

de goma de Nopal como sin ella. Este enfoque facilita la obtención de datos objetivos mediante la realización de ensayos de laboratorio, los cuales serán sometidos a un procesamiento y análisis estadístico con el propósito de verificar la hipótesis formulada. De este modo, se garantiza la validez de los resultados y se asegura que las conclusiones se basen en evidencias numéricas y verificables.

Población, muestra y muestreo

Población

Según [38], es el grupo total de individuos o elementos que estudian para obtener información específica, sobre los cuales se pueden hacer análisis y generalizaciones.

En este proyecto la población está conformada por 150 briquetas que se realizaron según los ensayos correspondientes.

Muestra

La muestra actúa como un reflejo de la población, y los resultados derivados de ella se emplean para realizar inferencias o generalizaciones sobre la totalidad de la población. Asimismo, es importante que tanto el tamaño como la composición de la muestra sean apropiados para garantizar que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos y representativos de la población en su conjunto [38].

En este contexto, la muestra que se utilizará será determinada de acuerdo con las normativas para cada ensayo a realizar, y constará de un total de 109 briquetas, lo cual permitirá obtener resultados confiables para el análisis y la comprensión de los datos.

Muestreo

En este apartado el muestreo tiene dos maneras de clasificarse: muestro probabilístico y no probabilístico [38]. Para la presente investigación, se ha optado por un muestreo probabilístico.

A continuación, en el cuadro de resumen, se exponen los datos correspondientes a cada uno de los cinco grupos, los cuales se presentaron en porcentajes en función de los antecedentes identificados. En este cuadro se puede observar la suma de sus valores, el promedio y la variación interna. La Columna 2 se distingue por poseer el promedio más elevado (2,00) y la mayor varianza (4,667), lo que indica que sus datos no solo exhiben tendencia hacia valores superiores, sino que además exhiben una notable dispersión entre ellos. Por el contrario, la Columna 4 proporciona el promedio más bajo (0,5625) y la varianza más reducida (0,176), lo que sugiere resultados notablemente cohesionados en torno a un valor mínimo. Las columnas restantes (1, 3 y 5) evidencian promedios intermedios y variaciones de magnitud moderada. En su totalidad, este diagrama demuestra que los grupos exhiben diferencias tanto en su

magnitud media como en su dispersión. Sin embargo, para discernir si dichas diferencias medias poseen relevancia estadística, es imprescindible tener en cuenta el análisis de varianza que se exponen a continuación.

TABLA IX
ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	5	1.25	0.416666667
Columna 2	4	8	2	4.666666667
Columna 3	4	3.5	0.875	0.729166667
Columna 4	4	2.25	0.5625	0.175625
Columna 5	3	2.5	0.83333333	0.583333333

Para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados logrados, en esta investigación se utilizó el programa Minitab. Este programa, a través de la implementación de fórmulas estadísticas exactas, permitió establecer tanto la frecuencia de creación de cada ensayo como la cantidad total de ensayos requeridos, empleando la tabla de análisis de varianza (ANOVA) la cual descompone la variabilidad total en la fracción atribuible a las discrepancias entre las medias de los cinco grupos (suma de cuadrados "entre grupos" = 4,895; $df = 4$) y la fracción atribuible a la variabilidad interna de cada grupo (suma de cuadrados "dentro de los grupos" = 19,131; $DF = 14$). Los medios cuadrados obtenidos son 1.224 y 1.367, respectivamente. De su cociente se deriva la estadística $F = 0,896$. En vista de que este valor es inferior al valor crítico $F(4,14) = 3,112$ y que el p-valor asociado (0,492) supera considerablemente el umbral de significación común (0,05), Dado el resultado de 3.112 se toma un aproximado de muestra por unidad 3 por muestra a ensayar

TABLA X
CUADRO ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4.89501096	4	1.22375274	0.895536097	0.49239473	3.112249848
Dentro de los grupos	19.1310417	14	1.36650298			
Total	24.0260526	18				

TABLA XI
Ensayo Marshal

Ensayo Marshall (ASTM D1559) / MTC E 504:2014					
CEMENTO ASFÁLTICO	MEZCLA CONVENCIONAL	MEZCLA MODIFICADA			
		PORCENTAJES			
		0.50%	1%	1.50%	2%
4	3	3	3	3	3
4.5	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3
5.5	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3
	15	15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

La TABLA VIII, muestra la cantidad de briquetas a realizar por cada % de cemento asfáltico y para las mezclas modificadas. De acuerdo con el MTC E-504, se requerirá un mínimo de 3 briquetas por cada caso.

De igual manera para el ensayo de Cántabro donde el MTC-E 515, menciona que el mínimo necesario es de 4 briquetas por cada contenido de mezcla a ensayar, lo cual se detalla en las TABLAS IX y XI.

Asimismo para el ensayo Lottman modificado, de acuerdo con la norma AASHTO T283, se deben realizar 6 especímenes, tanto para muestras sumergidas como secas, lo cual se refleja en la TABLA XII.

Por último, para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta y recuperación elástica por torsión, y en conformidad con sus normativas respectivas, se realizarán como mínimo 3 briquetas para cada mezcla, tal como se muestra en las TABLAS XI y XIII.

TABLA XII
Ensayo Cántabro

TEMPERATURA AL 25 °C	
Ensayo Cantabro-MTC E515	
% OPTIMO DEL C.A DE LA MEZCLA CONVENCIONAL	4
% OPTIMO DEL C.A + % OPTIMO DE LA ADICION DE GOMA NOPAL	4

Fuente: Elaboración propia

TABLA XIII
Ensayo Cántabro a 60°C

TEMPERATURA AL 60 °C	
Ensayo Cantabro-MTC E515	
% OPTIMO DEL C.A DE LA MEZCLA CONVENCIONAL	4
% OPTIM DEL C.A + % OPTIMO DE LA ADICION DE GOMA NOPAL	4

Fuente: Elaboración propia

TABLA XIV
Ensayo de Lottman Modificado

Lottman Modificado (AASHTO T283)		
BRIQUETAS	SUMERGIDAS	SECAS
% OPTIMO DEL C.A DE LA MEZCLA CONVENCIONAL	3	3
% OPTIMO DEL C.A + % OPTIMO DE LA ADICION DE GOMA NOPAL	3	3

Fuente: Elaboración propia

TABLA XV
Ensayo de recuperación elástica por torsión

Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados - MTC E 320	
% OPTIMO DEL C.A DE LA MEZCLA CONVENCIONAL	3
% OPTIMO DEL C.A + % OPTIMO DE LA ADICION DE GOMA NOPAL	3

Fuente: Elaboración propia

Variables y operacionalización

TABLA XVI
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad De Medida	Escala De Medición	Instrumentos
Independiente							
Goma Nopal	Biopolímero más empelado en aplicaciones geotécnicas, gracias a sus propiedades funcionales excepcionales, esta conformada por partículas de tonalidad crema-blanco solvente en agua fría o caliente [27].	La goma nopal será dosificada en diferentes porcentajes (0.5%, 1%, 1.5%, y 2%) en las mezclas bituminosas, de acuerdo con los antecedentes revisados. Se utilizará una balanza de precisión para medir la cantidad exacta de goma nopal a incorporar en cada mezcla, asegurando que cada proporción sea replicable y consistente durante el proceso de preparación de las muestras.	Dosificación	cantidad de diatomita	%	Razón	Balanza de presión
			Propiedades químicas	composición química	%	Razón	Fluorescencia de rayos x
Dependiente	Definición conceptual	Dimensión operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición	Instrumentos
Comportamiento mecánico	Estas mezclas han sido utilizadas desde principios del siglo	Las mezclas bituminosas se evaluarán en función de su comportamiento	Comportamiento mecánico	Pérdida por desgaste	%	Razón	Ensayo Cantabro-MTC E515

	XX en las capas superficiales de pavimentos flexibles, incluyendo pistas de aterrizaje, carreteras y otras infraestructuras. Esas mezclas se componen de agregados pétreos con una granulometría bien gradada y ligantes asfálticos, como el cemento asfáltico, formando una capa de rodadura duradera y resistente [23].	mecánico. Se determinará la pérdida por desgaste mediante el ensayo Cántabro (MTC E515), la resistencia a la humedad inducida y durabilidad a través del ensayo Lottman Modificado (AASHTO T283), la resistencia a la tracción indirecta con el ensayo de resistencia a la tracción indirecta (ASTM D6931), el flujo y la estabilidad a través del ensayo Marshall (MTC E504 - ASTM D6926 y MTC E504 - ASTM D6927, respectivamente), y la recuperación elástica por torsión utilizando el ensayo correspondiente (MTC E320).	Resistencia a la humedad inducida	%	Razón	Lottman Modificado (AASHTO T283)
			Flujo	mm	Razón	Ensayo Marshall -MTC E 504 - ASTM D6926
			Estabilidad	Kn	Razón	Ensayo Marshall -MTC E 504 - ASTM D6927
			Recuperación elástica por torsión	%	Razón	Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados - MTC E 320

Fuente: Elaboración propia

Interviniente	VALOR
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60/70
TIPO DE FILER (CEMENTO)	0.02

Fuente: Elaboración propia

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas

Según [38], la observación consiste en recopilar información del lugar a estudiar tal como aparece en la realidad. En este contexto, esto significa registrar todos los datos visibles que se registren sobre cómo la goma nopal influye en el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas, sobre los distintos ensayos de laboratorio.

También menciona, que el análisis documental involucra la recolección de información pertinente para la investigación, abarcando tanto fuentes teóricas como prácticas. Esto incluye informes, libros, manuales y otros materiales que se emplearán en el análisis de escritorio y en el campo. Es decir que el estudio requerirá de normativas peruanas y estadounidense para determinar los materiales y pasos que se necesiten para cada ensayo del laboratorio.

Instrumentos

Está conformado por ficha de observación y la guía de análisis documental:

Ficha de observación: Documentos que recopilan toda la información de datos necesarios en el laboratorio para desarrollar el análisis de las mezclas convencionales y mezclas modificadas.

Por otro lado, la guía de análisis documental es aquella que contará con toda la información brindada por cada una de las normativas.

Procedimiento para demostrar la hipótesis

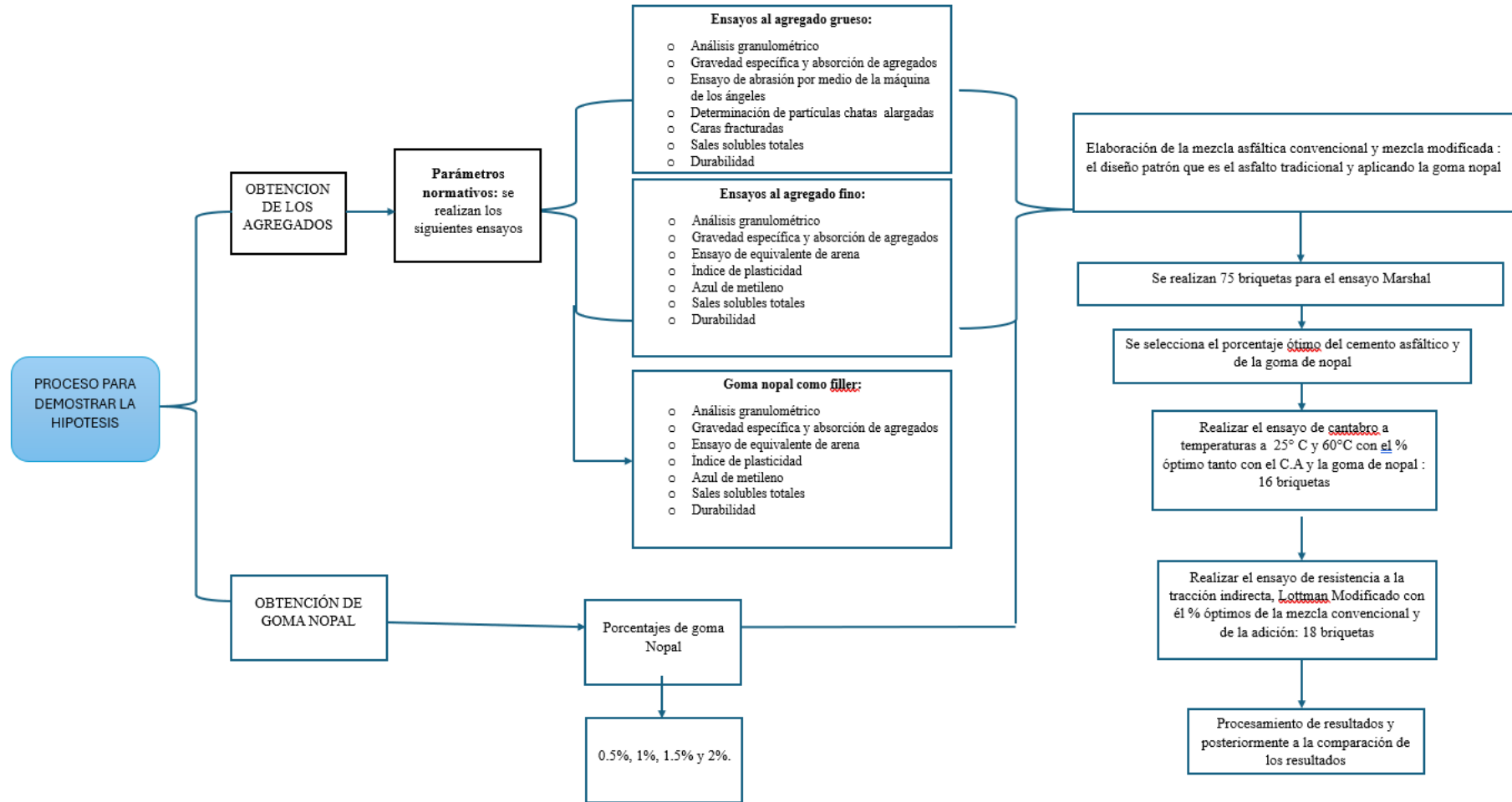


Fig 1. Procedimiento para demostrar la hipótesis

Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en diversas fases. Primero, se creó una mezcla bituminosa tradicional empleando agregados pétreos (piedra triturada y arena), además del uso de cemento asfáltico PEN 60/70, con el objetivo de definir una mezcla modelo.

Luego, se llevó a cabo la inclusión de goma de nopal como aditivo natural, sustituyendo parcialmente el contenido del cemento asfáltico en diversos porcentajes (como el 4 %, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%). Para cada proporción, se elaboraron briquetas empleando el método Marshall, analizando sus características mecánicas esenciales.

Después de haber conseguido las briquetas, se llevaron a cabo pruebas de estabilidad y flujo (Marshall), y luego se llevaron a cabo pruebas adicionales como el ensayo de pérdida por inmersión (Lottman modificado), el ensayo de durabilidad (Cántabro) para evaluar el comportamiento ante la humedad y la resistencia a la abrasión y por último la recuperación elástica por torsión de asfaltos.

Ensayos para el agregado grueso

Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles ASTM c-131 y ASTM c-535 (MTC E 207 – 2000)

Se optó por el método B para valorar el desgaste del agregado, debido a que su granulometría satisface los criterios fijados por dicho proceso. Para realizar el experimento, se emplearon 2500 gramos de material que quedaron retenido en el tamiz de 1/2" y otros 2500 gramos que quedaron retenidos en el de 3/8". La muestra recibió una carga abrasiva formada por 11 bolas de acero, que giró a 500 revoluciones durante un lapso de 15 minutos. Al concluir el experimento, se tamizó el material utilizando el tamiz N° 10 y se registró el peso del agregado sobrante.



Fig 2. Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles

Gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C 127; MTC E 206)

El peso específico se refiere a la proporción entre la masa y el espacio que un material ocupa. En este estudio, se estableció el peso concreto del agregado grueso retenido en la malla N.º 4 bajo distintas circunstancias: seco en el horno, saturado superficialmente seco (SSS) y sumergido en agua, además de calcular la densidad aparente.

De igual forma, se valoró la capacidad de absorción, que se define como el porcentaje de agua que el agregado puede retener después de estar totalmente saturado y posteriormente secado superficialmente. Este indicador es crucial para entender la reacción del agregado ante la humedad y su impacto en la adhesión con el ligante asfáltico, favoreciendo de esta manera el diseño y rendimiento apropiado de la mezcla.

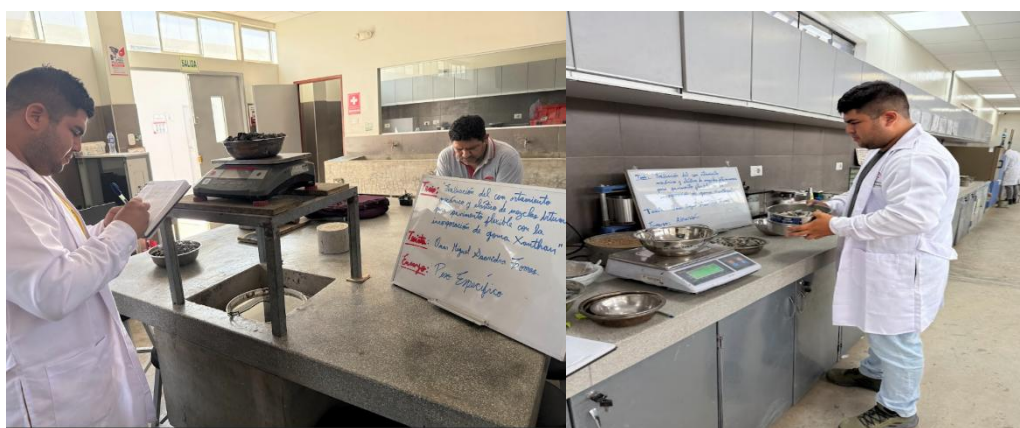


Fig 3. Ensayo de la gravedad específica y absorción del agregado grueso

Durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso MTC E – 209

La prueba de resistencia al sulfato de magnesio, según la norma MTC E-209, facilita la evaluación de la resistencia del agregado grueso ante procesos de desintegración bajo condiciones ambientales perjudiciales. Este método implica exponer las partículas del agregado, previamente depositadas en la malla determinada, a ciclos de inmersión y secado a través de una solución saturada de sulfato de magnesio. Este proceso imita el efecto de sustancias químicas que podrían hallarse en el ambiente natural o durante la limpieza del pavimento. La meta es establecer el nivel de pérdida de masa del agregado, como señal de su estabilidad y resistencia frente a factores externos.



Fig 4. Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Determinación de las partículas chatas y alargadas (ASTM d 4791; MTC E 221)

El objetivo de este ensayo es establecer la proporción de partículas planas y alargadas en el agregado grueso, ya que su geometría tiene un impacto negativo en la compactación y estabilidad de la mezcla asfáltica, complicando la correcta organización y reparto de los materiales. El análisis se llevó a cabo a través de un aparato de calibración proporcional que facilitó la identificación de estas partículas de acuerdo a diferentes relaciones dimensionales. Con base en la normativa vigente para pavimentos urbanos, se utilizará la relación 1:3 para este estudio, teniendo en cuenta que es la más representativa para valorar su impacto en el comportamiento estructural de la mezcla.



Fig 5. Ensayo las partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Equivalente de piedra

El ensayo de equivalente de piedra facilita la valoración de la calidad del agregado grueso al calcular la proporción de partículas sólidas y capaces de resistir materiales más suaves o contaminantes, como arcillas u otros de menor grosor. Esta evaluación es esencial para asegurar que el agregado satisfaga las necesidades de resistencia y durabilidad en mezclas asfálticas, dado que un equivalente de piedra reducido puede poner en riesgo la estabilidad estructural del pavimento y su rendimiento a largo plazo.

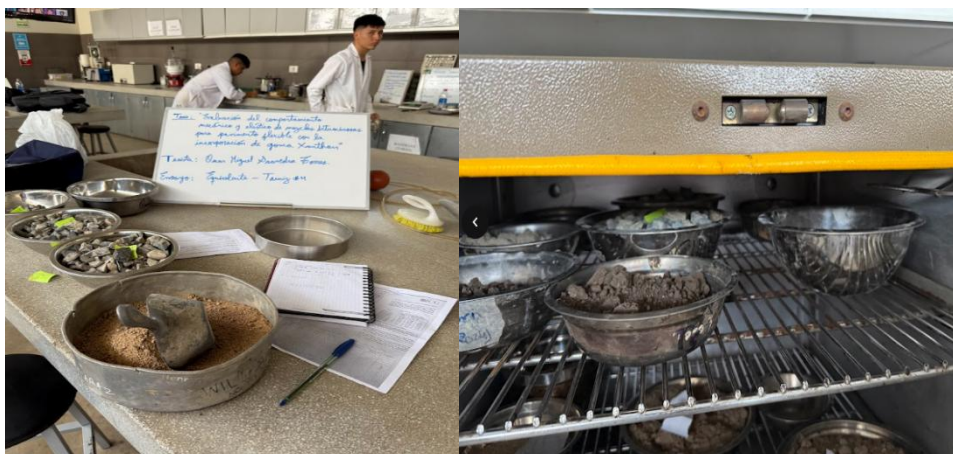


Fig 6. Ensayo equivalente de piedra

Ensayos para el agregado fino

Ensayo de equivalente de arena ASTM D 2419, AASHTO T 176 (MTC E 114)

El objetivo de este experimento es establecer el contenido de partículas pequeñas, tales como arcillas y polvo, en el material que atraviesa la malla N.º 4. Esta valoración ofrece una evaluación práctica del contenido de arcilla en la muestra, dado que un alto contenido puede impactar de manera adversa en la calidad y rendimiento de los agregados en mezclas bituminosas, poniendo en riesgo su cohesión y resistencia.



Fig 7. Ensayo equivalente de arena

Gravedad específica y absorción en agregados finos (ASTM C 205)

Esta prueba se basa en comparar el comportamiento del agregado fino con un material de referencia, en este caso, el agua. A través de este procedimiento, se determina el peso específico del agregado en estado seco y en condición saturada con superficie seca, así como su capacidad de absorción, parámetros esenciales para evaluar la calidad y el comportamiento del material en mezclas bituminosas.

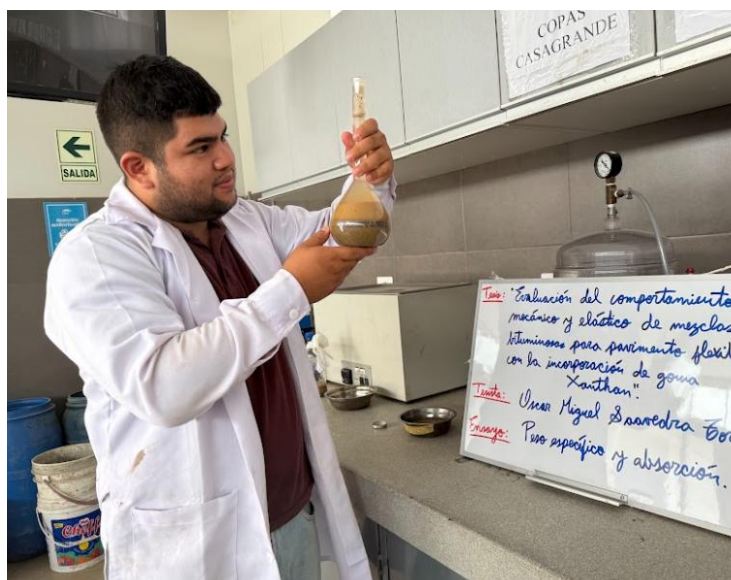


Fig 8. Ensayo de gravedad específica y absorción

Límites de atterberg

Se realizó el ensayo de límites de Atterberg al material fino que pasa la malla N.º 40 del agregado fino, con el objetivo de identificar la presencia de fracciones plásticas que puedan afectar el comportamiento de la mezcla bituminosa. Se determinó el límite líquido y el límite plástico, lo que permitió calcular el índice de plasticidad. Estos valores fueron fundamentales para evaluar si el agregado presenta una cantidad significativa de finos cohesivos que comprometan la trabajabilidad y durabilidad del pavimento flexible.



Fig 9. Ensayo de límites de atterberg

Sales solubles totales MTC E 219

El objetivo de esta prueba es determinar la concentración de sales presentes en el material. Para ello, la muestra se mezcla cuidadosamente con agua destilada, permitiendo que las sales solubles se disuelvan. Luego, la solución se filtra para separar los sólidos, y el líquido obtenido se somete a un proceso de decantación y evaporación hasta la completa eliminación del agua, quedando así las sales disueltas como residuo, cuya cantidad se mide para evaluar el nivel de salinidad del material.



Fig 10. Ensayo de sales solubles totales

Azul de metileno (AASHTO TP 57)

El objetivo de este ensayo es cuantificar la presencia de sustancias potencialmente perjudiciales en el agregado fino, como arcillas y materia orgánica. Para ello, se emplea una muestra de 5 gramos del material que pasa por la malla N.º 200, la cual se mezcla con 250 ml de agua. A esta mezcla se le añade una solución de azul de metileno en incrementos de 0,5 ml, aplicándola progresivamente mientras se agita. Posteriormente, se deposita una gota sobre papel filtro y se observa el cambio de color; el punto final se alcanza cuando la mancha adquiere un contorno azul sostenido, lo que indica la cantidad de contaminantes presentes en el material.



Fig 11. Ensayo de azul de metileno

Análisis granulométrico AASHTO T-27, ASTM D422(MTC E 107-2000)

El análisis granulométrico del agregado fino, realizado conforme a las normas AASHTO T-27, ASTM D422 y MTC E 107-2000, tiene como finalidad determinar la distribución del tamaño de las partículas dentro de una muestra. Para ello, el material se somete a un proceso de tamizado en seco utilizando una serie de mallas con aberturas progresivamente menores. Esto permite clasificar las partículas según su tamaño, evaluando su adecuación para su uso en mezclas y garantizando una adecuada trabajabilidad, resistencia y durabilidad del material en aplicaciones de construcción.

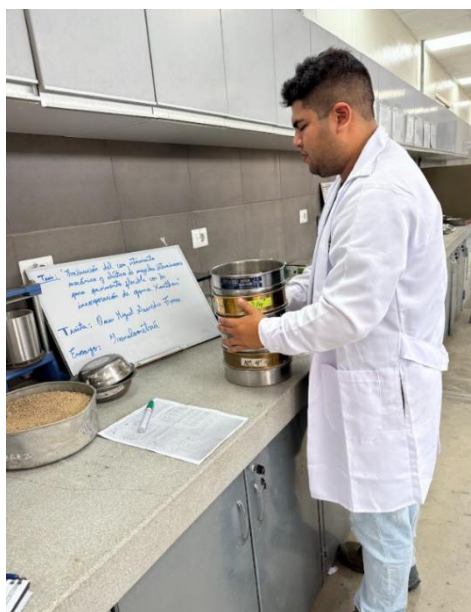


Fig 12. Ensayo de granulometría

Elaboración de briquetas

Como primera etapa del proceso experimental, y en función de la granulometría previamente establecida, así como del diseño de mezcla desarrollado para determinar el contenido óptimo de asfalto, tanto para la muestra patrón como para las modificadas con el aditivo a base de nopal, se procedió a pesar las cantidades necesarias de cada componente: agregado fino, agregado grueso y filler. Estas dosificaciones se realizaron según los porcentajes establecidos de cemento asfáltico, agregados y filler, con el objetivo de elaborar un total de 109 briquetas. Esta preparación previa permitió optimizar el tiempo y garantizar la uniformidad durante el proceso de elaboración.

Una vez preparadas las muestras de agregados y filler, se colocaron en una tara de acero inoxidable según los porcentajes requeridos para cada dosificación de cemento asfáltico. Posteriormente, se procedió a calentar tanto los agregados como el filler para alcanzar la temperatura adecuada. Paralelamente, se calentó el cemento asfáltico hasta que alcanzó un

estado líquido, lo cual facilitó su incorporación precisa, en la cantidad correspondiente (en peso), a la tara que contenía los materiales, permitiendo así una mezcla homogénea.



Fig 13. Mezcla de agregados

Una vez incorporado el cemento asfáltico a la mezcla de agregados y filler, se procedió a calentar toda la muestra sobre una cocina eléctrica hasta alcanzar la temperatura adecuada de mezclado. Durante este proceso, se removió constantemente con una cuchara de acero inoxidable para asegurar una distribución uniforme del ligante, garantizando que todos los componentes quedaran debidamente recubiertos y la mezcla presentara una textura homogénea.



Fig 14. Homogenización de mezcla asfáltica

Cuando se ha conseguido una homogeneización total en la mezcla del cemento asfáltico con los agregados y el filler, se considera lista para la siguiente fase: la compactación. Previo a este procedimiento, es imprescindible verificar que la mezcla llegue a la temperatura requerida por

el reglamento, que debe oscilar entre los 150 °C y 180 °C, garantizando de esta manera condiciones ideales para su composición.

A continuación, la mezcla caliente se vertió en moldes normalizados para la conformación de las briquetas. Primero se llenó aproximadamente hasta la mitad del molde, realizando 25 punzadas con una varilla de acero para asegurar la distribución uniforme del material. Luego se completó el llenado hasta el borde del molde, se repitieron las 25 punzadas y, finalmente, se niveló la superficie con una espátula para dejarla al ras.



Fig 15. Chuqueo de briquetas

En el siguiente paso, se realizó la compactación de las briquetas utilizando el martillo del equipo Marshall, aplicando 50 golpes por cara, conforme a lo establecido en la normativa para mezclas asfálticas convencionales. Este proceso asegura una adecuada consolidación del material en el molde



Fig 16. Compactación de briquetas

Una vez compactadas, las briquetas fueron dejadas en reposo a temperatura ambiente hasta su enfriamiento completo. Posteriormente, se procedió a su extracción con precaución, utilizando una gata hidráulica para retirarlas de los moldes sin dañar su integridad



Fig 17. Desmoldado de las briquetas

Se replicó el mismo procedimiento para la elaboración de las 109 briquetas, las cuales fueron preparadas con el fin de ser evaluadas a través de diversos ensayos que permitan analizar su comportamiento físico y mecánico, tanto en su estado patrón como con la adición del aditivo a emplear en la investigación.



Fig 18. Ensayo Marshall al 0.5% y 1% de goma nopal

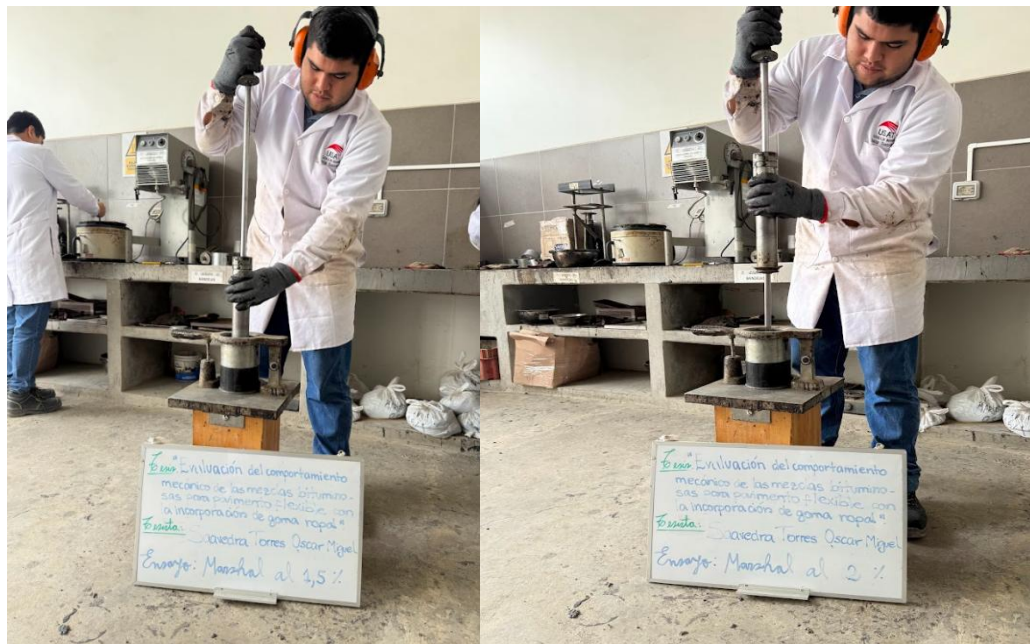


Fig 19. Ensayo Marshall al 1.5% y 2% de goma nopal



Fig 20. Briquetas para determinar el OCA



Fig 21. Briquetas de la mezcla patrón y mezcla con adición de goma nopal

Ensayos para las briquetas

Peso específico “BULK”, (MTC E 514).

El procedimiento se inicia con el pesado de la briqueta en estado seco. Luego, se sumerge en agua mediante una canastilla durante aproximadamente cinco minutos, tras lo cual se registra su peso sumergido. Seguidamente, se retira la briqueta del agua, se seca superficialmente y se vuelve a pesar. Este proceso se aplicará a todas las briquetas, tanto a las convencionales como a aquellas elaboradas con el relleno modificado.



Fig 22. Ensayo del peso específico de las briquetas

Ensayo de estabilidad y flujo

Se realizó el ensayo de estabilidad y flujo utilizando el método Marshall, con el objetivo de evaluar la resistencia al esfuerzo de corte y la deformación de las briquetas asfálticas. La estabilidad se determinó aplicando una carga diametral a cada muestra compactada hasta alcanzar su punto máximo de resistencia, lo que permite analizar la cohesión y calidad de la mezcla. Paralelamente, se midió el flujo, que corresponde a la deformación sufrida por la muestra antes de fracturarse, indicando su comportamiento plástico frente a cargas de tránsito. Ambos parámetros son fundamentales para valorar el desempeño estructural de la mezcla asfáltica con y sin adición del aditivo a base de nopal.



Fig 23. Ensayo de Estabilidad y Flujo de las briquetas.

Ensayo Rice

Se realizó el ensayo según las normas ASTM D2071 y AASHTO T 209, con el propósito de determinar la gravedad específica y la densidad teórica máxima de las mezclas asfálticas, lo que permite calcular el volumen de vacíos en la mezcla. Para ello, se seleccionó una muestra por cada diseño, la cual fue calentada, desmenuzada y enfriada a temperatura ambiente. Posteriormente, se pesó un frasco volumétrico con agua y con la muestra. La mezcla se sometió a vacío mediante el equipo Rice, vibrando durante aproximadamente 15 minutos mientras se agitaba manualmente, con el fin de eliminar completamente el aire atrapado.

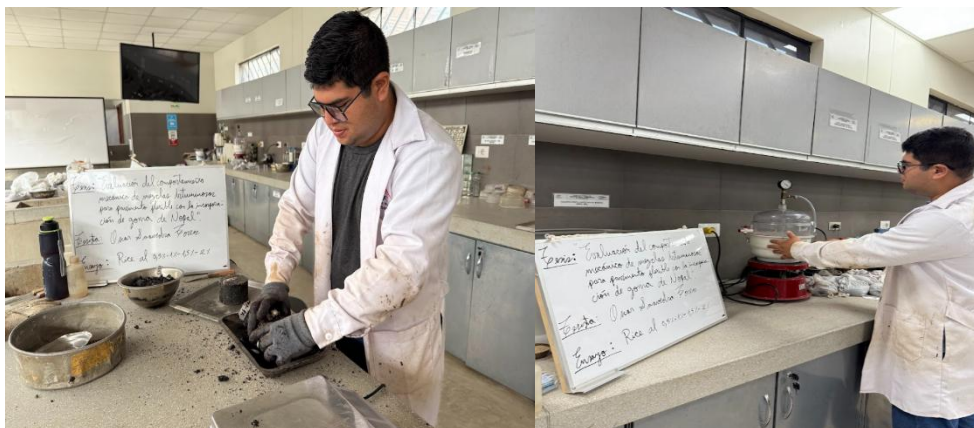


Fig 24. Ensayo Rice

Ensayo Cantabro a 25°C-MTC E515

El procedimiento del ensayo Cántabro se llevó a cabo de la siguiente manera: Una vez que se disponga de las briquetas, se procederá a pesarlas con el fin de determinar la masa de cada una antes de someterlas al ensayo. A continuación, se procede a introducir el material en el tambor de la máquina de Los Ángeles. Sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor durante 300 revoluciones. Al concluir las revoluciones, se retira la briqueta y se procede a pesarla nuevamente. El ensayo se lleva a cabo de manera reiterada para cada una de las muestras.



Fig 25. Ensayo Cántabro a 25° C

Ensayo Cantabro a 60°C-MTC E515

El procedimiento es idéntico al realizado a 25 °C, con la salvedad de que en este caso se caracteriza la muestra en presencia de agua. Esto se lleva a cabo tras someterla a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60 °C, para posteriormente colocarla en el tambor de la máquina de los Ángeles y hacerla girar 300 revoluciones.



Fig 26. Ensayo Cántabro a 60°

Lottman Modificado (AASHTO T283)

El ensayo realizado por Lottman consistió en la obtención de seis muestras, tanto de las mezclas drenantes convencionales como de las modificadas. A cada una de estas muestras se les midió la altura y el diámetro, además de realizar el ensayo de densidad aparente para ser considerados como datos de entrada.

Posteriormente, se llevó a cabo una división en dos sectores: el sector seco y el grupo condicionado. Las muestras del grupo seco fueron colocadas en bolsas plásticas antigoteo y sumergidas en una poza durante un período de dos horas. Posteriormente, se procedió a realizar las pruebas en el equipo correspondiente.

En relación con el grupo acondicionado, se dispusieron en taras, se llenaron de agua hasta que esta superara las briquetas y se colocaron en el refrigerador durante un período de dieciséis horas. A continuación, se retiró y se permitió reposar a temperatura ambiente. Posteriormente, se introdujo en un baño maría a una temperatura de 60 °C durante un período de 24 horas. Posteriormente, se retiran las muestras, se permite un periodo de reposo de dos horas y se procede a realizar el ensayo.

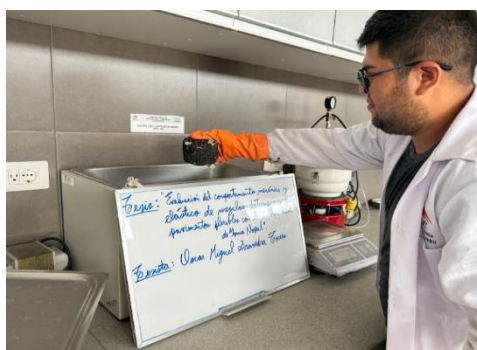




Fig 27. Ensayo Lottman Modificado

Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados - MTC E 320

Se lleva a cabo con el propósito de evaluar la capacidad de un asfalto modificado para recuperar su forma tras haber sido sometido a una deformación. Consiste en dar forma a un hilo o filamento del ligante asfáltico previamente calentado, el cual se somete a un estiramiento bajo condiciones controladas de temperatura. A continuación, se procede a cortar el hilo en su punto medio y se mide la recuperación de la deformación durante un período de tiempo determinado. El porcentaje de recuperación obtenido refleja la elasticidad del asfalto y, en consecuencia, su capacidad para resistir deformaciones permanentes. Este ensayo es fundamental en el estudio de asfaltos modificados con polímeros, dado que garantiza su rendimiento en pavimentos flexibles expuestos a cargas repetitivas.



Fig 28. Ensayo Recuperación elástica

Resultados y discusión

En esta etapa se desarrolla el procesamiento de datos como parte del tratamiento de la información obtenida a partir de los ensayos realizados a los agregados finos, gruesos, al filler y a las mezclas asfálticas, tanto convencionales como aquellas modificadas con la adición de nopal. Para ello, se empleó el software Excel, en el cual se diseñaron formatos específicos para cada ensayo incluido en la investigación. El análisis de resultados se llevó a cabo mediante la elaboración de tablas y gráficos que permitieron interpretar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas evaluadas.

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

A continuación, se observan los resultados del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso y fino:

TABLA XVII
Granulometría de agregados

TAMI Z	AASH TO T- 27	PESO	PORCENT AJE	RETENID O	PORCENT AJE	ESPECIFICA CION	
	(mm)	RETENI DO	RETENID O	ACUMUL ADO	QUE PASA		
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80	100
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70	88
N° 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51	68
N° 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38	52
N° 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17	28
N° 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8	17
N° 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4	8
< N° 200	FOND O	86.9	4.8	100.0			

En la Tabla XVII, se presentan los resultados del análisis granulométrico de los agregados, realizado según la norma AASHTO T-27. La distribución de los porcentajes retenidos por tamiz indica que la gradación del material se encuentra dentro de los rangos especificados por el MTC para mezclas asfálticas tipo MAC-2, cumpliendo en cada fracción con los límites establecidos. Se observa una curva bien distribuida, con una adecuada proporción de agregados gruesos y

finos, lo que favorece una buena trabajabilidad, compactación y estabilidad volumétrica de la mezcla. Esto confirma que los agregados utilizados son apropiados para la elaboración de mezclas asfálticas convencionales con buen desempeño estructural.

Caracterización del agregado grueso para mezcla asfáltica

Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles del agregado grueso

A continuación, se observan los resultados del ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles:

TABLA XVIII
Resultado de abrasión de los ángeles del agregado grueso

Descripción	% de desgaste por abrasión	% de uniformidad
Agregado grueso	19.3	0.5

En la Tabla XVIII, se observa que el porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso es de 19.3%, lo cual indica una buena resistencia al desgaste mecánico, ya que se encuentra por debajo del límite máximo permitido por la normativa del MTC para mezclas asfálticas, que es del 35%. Asimismo, el valor de 0.5% de uniformidad sugiere que el material presenta una granulometría estable, lo que contribuye a una mejor compactación y desempeño estructural en la mezcla.

Peso específico y absorción del agregado grueso

A continuación, se observan los resultados del ensayo de gravedad específica y absorción:

TABLA XIX
Resultado de peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	Peso específico	% de absorción
Agregado grueso	2.581	0.85

En la Tabla XIX, se muestra que el agregado grueso presenta un peso específico de 2.581, valor que se encuentra dentro del rango típico para agregados pétreos utilizados en mezclas asfálticas, lo que indica una adecuada densidad del material. Además, el porcentaje de absorción obtenido es de 0.85%, siendo un valor aceptable según las especificaciones técnicas, ya que no supera el 2%. Esto sugiere que el agregado posee una estructura compacta con baja porosidad, lo cual favorece la adherencia con el ligante asfáltico y contribuye al buen desempeño de la mezcla en términos de durabilidad y resistencia.

Durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso

A continuación, se observan los resultados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio:

TABLA XX
Resultado de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso

Tamices		Rajadas		Desmoronadas		fracturadas		Astilladas		N° total de partículas antes del ensayo
pasa	retiene	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2"	2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
2"	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
1 1/2"	3/4"	0	0	5	25	0	0	0	0	20

En la Tabla XX, se presentan los resultados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio aplicado al agregado grueso. Se observa que en los tamices de mayor tamaño (2 1/2" - 2" y 2" - 1 1/2") no se registraron partículas dañadas, lo cual indica buena resistencia del material frente a ambientes agresivos. Sin embargo, en el intervalo de 1 1/2" a 3/4", se reportaron 5 partículas desmoronadas, lo que representa un 25% del total de partículas evaluadas en ese rango. A pesar de esta observación puntual, el comportamiento general del agregado sigue siendo aceptable, considerando que el ensayo se enfoca en simular condiciones de deterioro por ataque químico. Estos resultados sugieren que el agregado grueso presenta una durabilidad razonable y puede considerarse apto para su uso en mezclas asfálticas, siempre que se controle adecuadamente su gradación.

Determinación de las partículas chatas y alargadas del agregado grueso

A continuación, se observan los resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas:

TABLA XXI
Resultado de las partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Descripción	% total de chatas y alargadas
Agregado grueso	11%

En la Tabla XXI, se indica que el agregado grueso proveniente de la cantera evaluada presenta un 11% de partículas chatas y alargadas. Este valor se encuentra dentro del límite máximo permitido por la normativa del MTC, que generalmente establece un máximo del 12% para mezclas asfálticas. Un porcentaje bajo de partículas con estas formas es favorable, ya que evita problemas en la compactación y en la resistencia estructural de la mezcla. Por lo tanto, se

concluye que el agregado cumple con las características geométricas requeridas para su uso en pavimentos flexibles.

Caras fracturadas

A continuación, se observan los resultados del ensayo de caras fracturadas :

TABLA XXII
Resultado de las caras fracturadas del agregado grueso

Descripción	% con una cara fracturada	% con dos caras fracturadas
Agregado grueso	24.9%	30.7%

En la Tabla XXII, se observa que el agregado grueso presenta un 24.9% de partículas con una cara fracturada y un 30.7% con dos caras fracturadas. Estos valores reflejan un nivel moderado de angularidad y textura en el material, lo cual favorece la adherencia con el ligante asfáltico y mejora la resistencia al deslizamiento dentro de la mezcla. Aunque los porcentajes podrían optimizarse para obtener una mayor trabazón interna, los resultados son aceptables para el uso en mezclas asfálticas convencionales, contribuyendo a un buen comportamiento mecánico del pavimento.

Sales solubles

A continuación, se observan los resultados del ensayo de sales solubles:

TABLA XXIII
Resultado de sales solubles del agregado grueso

Descripción	ppm	%
Agregado grueso	900	0.09

En la Tabla XXIII, se reporta que el agregado grueso presenta un contenido de sales solubles de 900 ppm, equivalente al 0.09%. Este valor se encuentra por debajo del límite máximo permitido (generalmente 0.10%), lo que indica que el material posee una baja concentración de sales que podrían afectar la adherencia entre el agregado y el cemento asfáltico. En consecuencia, el agregado cumple con los requisitos de calidad química, siendo apto para su uso en mezclas asfálticas sin riesgo de deterioro prematuro por reacciones químicas indeseadas.

Caracterización del agregado grueso para mezcla asfáltica

Ensayo de equivalente de arena

A continuación, se observan los resultados del ensayo de equivalente de arena:

TABLA XXIV
Resultado de sales solubles del agregado fino

Descripción	% de equivalente de arena
Agregado fino	61%

En la Tabla XXIV, se indica que el agregado fino alcanzó un 61% en el ensayo de equivalente de arena, lo cual refleja una buena calidad del material en cuanto a limpieza y baja presencia de partículas finas perjudiciales, como arcillas. Este valor supera el mínimo requerido por las especificaciones técnicas (generalmente $\geq 45\%$), lo que garantiza una adecuada trabajabilidad y estabilidad en la mezcla asfáltica. Por tanto, el agregado fino es considerado apto para su uso en pavimentos flexibles

Peso específico y absorción en agregados finos

A continuación, se observan los resultados del ensayo del peso específico y absorción:

TABLA XXV
Resultado del peso específico y absorción de agregados finos

Descripción	Peso específico	% de absorción
Agregado fino	2.747	0.53

En la Tabla XXV, se muestra que el agregado fino presenta un peso específico de 2.747, valor que indica una adecuada densidad del material para su incorporación en mezclas asfálticas. Asimismo, el porcentaje de absorción es de 0.53%, lo cual refleja una baja porosidad y una buena calidad del agregado, ya que se encuentra por debajo del límite generalmente aceptado del 2%. Estos resultados sugieren que el agregado fino es adecuado para garantizar una buena adhesión con el ligante asfáltico y contribuir a la durabilidad de la mezcla.

Límites de atterberg del agregado fino

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de límites de atterberg del agregado fino:

TABLA XXVI
Resultado de límites de atterberg del agregado fino

Descripción	LL	LP	IP
Agregado fino	28.77	15.63	13.14

En la Tabla XXVI, se presentan los resultados del ensayo de límites de Atterberg para el agregado fino, donde se obtuvo un límite líquido (LL) de 28.77, un límite plástico (LP) de 15.63 y un índice de plasticidad (IP) de 13.14. Estos valores indican que el material posee una plasticidad moderada, lo cual puede influir en su comportamiento ante la presencia de humedad. Aunque no es altamente plástico, su IP sugiere cierta sensibilidad al agua, por lo que su proporción en la mezcla debe controlarse cuidadosamente para evitar efectos negativos en la trabajabilidad y estabilidad de la mezcla asfáltica.

Sales solubles totales del agregado fino

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de sales solubles totales.

TABLA XXVII
Resultado de sales solubles del agregado fino

Descripción	ppm	%
Agregado fino	700	0.07

En la Tabla XXVII, se reporta que el agregado fino presenta un contenido de sales solubles totales de 700 ppm, equivalente al 0.07%. Este valor se encuentra dentro de los límites permitidos por las especificaciones técnicas (generalmente no mayor al 0.10%), lo que indica una baja presencia de compuestos solubles que podrían afectar negativamente la adherencia con el ligante asfáltico. Por lo tanto, el agregado fino evaluado es químicamente adecuado para su uso en mezclas asfálticas, sin riesgo significativo de deterioro prematuro por acción de sales.

Azul de metileno del agregado fino

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de azul metileno:

TABLA XXVIII
Resultado de azul de metileno del agregado fino

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material	Resultado	Especificación EG -213	
	Cada	NÚMERO	Fino (N° 200)		Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	16.0	50.0	3	—	8
		16.0	50.0	3		

En la Tabla XXVIII, se muestra el resultado del ensayo de azul de metileno aplicado al agregado fino que pasa por el tamiz N.º 200. Se utilizó un volumen total de 16.0 ml de solución sobre 50.0 g de material, obteniéndose un índice de azul de metileno de 3, valor que se encuentra por debajo del límite máximo permitido de 8, según la especificación EG-213. Este resultado indica una baja presencia de partículas finas nocivas como arcillas activas, lo cual favorece una buena adhesión del ligante asfáltico y un adecuado comportamiento mecánico de la mezcla.

Durabilidad del agregado fino

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de durabilidad del agregado fino:

TABLA XXIX
Resultado de durabilidad del agregado fino

Descripción	Desgaste (%)
Agregado fino	8.7

En la Tabla XXIX, se reporta un desgaste del 8.7% para el agregado fino en el ensayo de durabilidad. Este valor indica que el material presenta una buena resistencia frente a condiciones de deterioro físico y químico, encontrándose dentro de los límites aceptables según especificaciones técnicas. Un bajo porcentaje de desgaste como este sugiere que el agregado fino es adecuado para su uso en mezclas asfálticas, ya que contribuirá a una mayor durabilidad y estabilidad de la estructura del pavimento.

Diseño de mezcla para determinar el óptimo contenido de asfalto de la mezcla asfáltica en caliente

Resultado del ensayo Rice de la muestra patrón

TABLA XXX
Resultado del ensayo rice de la muestra patrón

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5 %	5%	5.5 %	6.0 %
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2043	2084	2076	2109	2068

4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3449	3392	3424	3366	3452
	.0	.0	.0	.0	.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1406	1308	1348	1257	1384
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	522	481	489	456	497
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.69 3	2.71 9	2.75 7	2.75 7	2.78 5

En la Tabla XXX, se presentan los resultados del ensayo Rice para la muestra patrón, el cual permite determinar el peso específico teórico máximo (PETM) de la mezcla asfáltica. Se evaluaron cinco contenidos de asfalto: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6.0%, observándose un aumento progresivo en el PETM desde 2.693 gr/cm³ hasta 2.785 gr/cm³. Este comportamiento refleja que, a mayor porcentaje de cemento asfáltico, la mezcla adquiere una mayor densidad teórica, debido al mejor relleno de vacíos entre partículas minerales. Este parámetro es esencial para calcular los vacíos con aire en las briquetas compactadas y evaluar el grado de compactación de la mezcla, siendo un indicador clave para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente

TABLA XXXI
Resultado del ensayo Marshall según porcentaje de CA

ENSAYO MARSHALL	4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.567	2.548	2.618	2.614	2.615
Vacíos (%)	4.68	6.31	5.01	5.17	6.10
Vacíos del agregado Mineral (%)	12.30	10.74	8.74	9.37	9.83
Vacíos Llenados de C.A (%)	64.20	41.89	44.42	44.94	38.00
Flujo (mm)	7.62	8.47	7.71	8.13	9.48
Estabilidad (Kg)	31.46	3568	4499	3881	3452
Relación Polvo Asfalto	1.2	0.42	0.38	0.34	0.31
Relación Estabilidad Flujo	4128	4219	5958	4777	36552

En la Tabla XXXI, se exponen los resultados del ensayo Marshall aplicados a las diferentes mezclas asfálticas según el porcentaje de contenido de cemento asfáltico (C.A.), variando entre 4% y 6%. Se observa que el peso unitario alcanza su valor máximo con el 5% de C.A. (2.618

gr/cm³), lo que indica una mayor compactación de la mezcla. Los vacíos de aire son mínimos también en el 5%, con un 5.01%, dentro del rango recomendado por especificaciones técnicas. Asimismo, los vacíos del agregado mineral (VMA) disminuyen progresivamente con el aumento del asfalto, y el mayor porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) también se encuentra en el 4%, con un 64.20%, disminuyendo a medida que se incrementa el contenido de asfalto. En cuanto al flujo, los valores aumentan con el contenido de asfalto, indicando una mayor deformabilidad. La estabilidad Marshall corregida es máxima en el 5% de C.A. con 4499 kg, reflejando el mejor comportamiento mecánico. Finalmente, la relación estabilidad/flujo también tiene su pico en el 5%, lo que sugiere que este porcentaje de asfalto proporciona el mejor equilibrio entre resistencia y deformación, siendo el contenido óptimo para esta mezcla.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente con el 0.5% de goma de nopal

Resultado del ensayo Rice con la adición del 0.5% de nopal

TABLA XXXII

Resultado del ensayo rice con la adición del 0.5% de nopal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	736	736	736	736	736
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2594	2594	2594	2594	2594
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2172	2181	2172	2176	2126
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3352	3249	3311	3310	3346
	.0	.0	.0	.0	.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1180	1068	1139	1134	1220
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	422	413	422	418	468
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.79	2.58	2.69	2.71	2.60
	6	6	9	3	7

En la Tabla XXXII, se presentan los resultados del ensayo Rice realizado a mezclas asfálticas modificadas con la adición del 0.5% de mucílago de nopal. Se observa que el peso específico teórico máximo (PETM) varía con el contenido de asfalto, alcanzando su mayor valor con el

4% de C.A. (2.796 gr/cm³), lo que indica una mayor densidad teórica inicial. Sin embargo, conforme aumenta el contenido de asfalto, el PETM disminuye de forma general, con un valor mínimo en el 4.5% (2.586 gr/cm³) y en el 6% (2.607 gr/cm³). Este comportamiento podría asociarse a la interacción del mucílago de nopal con el cemento asfáltico y los agregados, afectando la distribución y compactación óptima de la mezcla. La tendencia sugiere que la adición del aditivo vegetal puede modificar la estructura interna de la mezcla, afectando su compacidad, por lo que es necesario evaluar también otros parámetros como vacíos y estabilidad para determinar la dosificación más eficiente.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente con 0.5% de nopal

TABLA XXXIII
Resultado del ensayo Marshall con la adición del 0.5% de nopal

ENSAYO MARSHALL	4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.643	2.453	2.490	2.585	2.471
Vacíos (%)	5.49	5.12	7.74	4.71	5.20
Vacíos del agregado Mineral (%)	14.40	14.04	13.76	13.17	16.13
Vacíos Llenados de C.A (%)	62.90	63.67	43.89	64.27	68.01
Flujo (mm)	9.40	8.89	8.46	11.60	9.48
Estabilidad (Kg)	2690	3228	5930	3821	5139
Relación Polvo Asfalto	2.40	0.42	0.34	0.86	0.63
Relación Estabilidad Flujo	2886	3398	8310	3375	53.76

En la Tabla XXXIII se presentan los resultados del ensayo Marshall con la adición del 0.5% de nopal, evaluando diferentes porcentajes de cemento asfáltico (C.A.) del 4% al 6%. Se observa que el peso unitario de la mezcla varía, alcanzando su valor más alto con el 4% de C.A. (2.643 gr/cm³) y descendiendo ligeramente en los siguientes dosificaciones, con un comportamiento irregular. El contenido de vacíos presenta una tendencia decreciente hasta el 5.5%, donde se obtiene el valor mínimo (4.71%), para luego aumentar levemente al 6%. En cuanto a los vacíos del agregado mineral (VMA), los valores oscilan entre 13.17% y 16.13%, siendo el más bajo también con el 5.5% de asfalto. Los vacíos llenados de asfalto (VFA) muestran su punto más alto con el 6% (68.01%), lo que indica una mayor eficiencia en el relleno de vacíos. El flujo (fluencia) es más alto con el 5.5% (11.60 mm), lo que podría señalar una mezcla más plástica. La estabilidad máxima se alcanza con el 5% de asfalto (5930 kg), lo cual sugiere que esta dosificación ofrece el mejor desempeño estructural. Por otro lado, la relación

polvo/asfalto y la relación estabilidad/flujo también reflejan un comportamiento más equilibrado en la dosificación del 5%, resaltando su desempeño como el óptimo dentro del rango analizado.

Resultado del ensayo Rice con la adición del 1% de nopal

TABLA XXXIV
Resultado del ensayo rice con la adición del 1% de nopal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	736	736	736	736	736
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2122	2147	2086	2164	2085
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3357	3238	3270	3209	3326
	.0	.0	.0	.0	.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1235	1091	1184	1045	1241
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	443	418	479	401	480
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.788	2.610	2.472	2.606	2.585

En la Tabla XXXIV se muestran los resultados del ensayo Rice con la adición del 1% de nopal, evaluando distintos porcentajes de cemento asfáltico (4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%). El ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico máximo teórico de la mezcla (Gmm), parámetro fundamental para calcular los vacíos con aire en el diseño Marshall. Se observa que el peso específico máximo es más alto con el 4% de asfalto (2.788 gr/cm³), disminuyendo progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo con el 5% (2.472 gr/cm³), para luego estabilizarse ligeramente en las dosificaciones superiores (5.5% y 6%). Esta variación puede deberse a la interacción del asfalto con el nopal y los agregados, así como a la densidad relativa de las mezclas. Una disminución en el Gmm suele indicar una mayor incorporación de vacíos o una menor compactación interna, lo cual debe analizarse conjuntamente con los vacíos con aire y la estabilidad Marshall para definir la dosificación óptima. En este caso, la mezcla con 4% muestra el mayor Gmm, pero se requiere contrastar con la estabilidad y fluencia para asegurar que sea también la mezcla más resistente y duradera.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente con 1% de nopal

TABLA XXXV
Resultado del ensayo Marshall con la adición del 1% de nopal

ENSAYO MARSHALL	4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.605	2.438	2.253	2.386	2.401
Vacíos (%)	6.54	6.60	8.85	8.42	7.15
Vacíos del agregado Mineral (%)	15.61	13.73	20.69	19.75	18.88
Vacíos Llenados de C.A (%)	58.79	52.49	57.24	57.72	62.20
Flujo (mm)	8.47	9.57	9.48	9.48	9.82
Estabilidad (Kg)	3622	3509	3687	4049	3921
Relación Polvo Asfalto	2.40	0.21	0.19	0.86	3987
Relación Estabilidad Flujo	4307	3702	3892	4372	0.63

En la Tabla XXXV, se observa que al incrementar el contenido de asfalto del 4% al 6%, el peso unitario presenta una tendencia a disminuir, indicando una compactación menos eficiente. Los vacíos y los vacíos del agregado mineral (VMA) se mantienen elevados, lo que sugiere una mezcla más porosa. La estabilidad mejora a partir del 4.5%, alcanzando su mejor valor con el 6% de asfalto. El flujo varía entre 8.47 mm y 9.82 mm, mostrando una mezcla flexible. La relación estabilidad/flujo es más favorable en el 5.5%, reflejando un equilibrio adecuado entre resistencia y deformación. En conjunto, el contenido óptimo de asfalto con 1% de nopal se aproxima al 5.5%, por presentar mejor desempeño mecánico.

Resultado del ensayo Rice con la adición del 1.5% de nopal

TABLA XXXVI
Resultado del ensayo rice con la adición del 1.5% de nopal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565

3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2146	2078	2110	2139	2152
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3321	3316	3282	3276	3255
	.0	.0	.0	.0	.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1175	1238	1172	1137	1103
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	419	487	455	426	413
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.80 4	2.54 2	2.57 6	2.66 9	2.67 1

En la Tabla XXXVI, se aprecia el resultado del ensayo Rice con distintos porcentajes de asfalto al incorporar un 1.5% de nopal. El peso neto de la muestra disminuye progresivamente conforme aumenta el contenido de asfalto, pasando de 1175 g (4%) a 1103 g (6%). Esta disminución puede estar relacionada con una mayor cantidad de ligante, que desplaza parte del agregado en el volumen total. El comportamiento observado sugiere que, a mayores contenidos de asfalto, la mezcla se vuelve más ligera, lo que influye directamente en su peso específico teórico máximo. Esta información es clave para calcular la densidad teórica (Rice) y, posteriormente, los vacíos de la mezcla en los ensayos Marshall.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente con 1.5% de nopal

TABLA XXXVII
Resultado del ensayo Marshall con la adición del 1.5% de nopal

ENSAYO MARSHALL	4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.650	2.428	2.434	2.545	2.528
Vacíos (%)	5.50	4.47	5.52	4.66	5.34
Vacíos del agregado Mineral (%)	14.16	14.92	15.18	14.44	14.57
Vacíos Llenados de C.A (%)	61.72	70.16	63.95	67.73	63.52
Flujo (mm)	9.48	9.48	9.40	10.25	9.90
Estabilidad (Kg)	3759	4474	4073	4958	4182
Relación Polvo Asfalto	2.40	0.42	0.38	0.86	0.63
Relación Estabilidad Flujo	3925	4754	4322	4857	4236

En la Tabla XXXVII, se muestra que el mejor peso unitario se alcanza al 4% de asfalto, pero los valores más equilibrados en vacíos y vacíos llenados de C.A. aparecen entre el 4.5% y 5.5%. La estabilidad máxima se registra al 5.5% con 4958 kg, mientras que el flujo se mantiene dentro

del rango aceptable, destacando una buena deformabilidad. La relación estabilidad/flujo también es más favorable en el 5.5%, lo que indica un comportamiento mecánico más óptimo. En resumen, con la adición del 1.5% de nopal, el contenido de asfalto óptimo se encuentra alrededor del 5.5%.

Resultado del ensayo Rice con la adición del 2% de nopal

TABLA XXXVIII
Resultado del ensayo rice con la adición del 2% de nopal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2147	2104	2070	2141	2098
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3237	3289	3324	3271	3321
	.0	.0	.0	.0	.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1090	1185	1254	1130	1223
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	418	461	495	424	467
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.608	2.570	2.533	2.665	2.619

En la Tabla XXXVIII, se observa que el peso específico máximo (Rice) de la mezcla con 2% de nopal varía con el contenido de asfalto. El valor más alto se presenta al 5.5% de asfalto (2.665 g/cc), indicando una mayor densidad teórica de la mezcla en ese punto. Este comportamiento sugiere que, a ese porcentaje, se logra una mejor compactación teórica, lo cual es un buen indicio para el análisis de vacíos y estabilidad en el ensayo Marshall. En contraste, al 5% se registra el valor más bajo (2.533 g/cc), lo cual podría reflejar una menor interacción efectiva entre los componentes de la mezcla.

Resultado del ensayo Marshall de una mezcla asfáltica en caliente con 2% de nopal

TABLA XXXIX
Resultado del ensayo Marshall con la adición del 2% de nopal

ENSAYO MARSHALL	4%	4.5%	5%	5.5%	6%
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.480	2.432	2.410	2.524	2.490
Vacíos (%)	4.88	5.39	4.86	5.29	4.93
Vacíos del agregado Mineral (%)	19.66	14.80	15.99	15.13	15.87
Vacíos Llenados de C.A (%)	75.21	63.56	69.73	65.45	68.92
Flujo (mm)	9.31	9.31	9.74	9.14	9.06
Estabilidad (Kg)	4139	4691	3801	4270	4567
Relación Polvo Asfalto	2.40	0.42	0.38	0.86	0.627
Relación Estabilidad Flujo	4437	5034	4005	4778	5020

En la Tabla XXXIX, con la adición del 2% de nopal, el peso unitario más alto se alcanza al 5.5% de asfalto (2.524 g/cm³), lo que sugiere una mejor compactación. El contenido de vacíos se mantiene dentro del rango recomendado (entre 4% y 8%) en todos los casos, con el valor más bajo al 5% (4.86%) y más alto al 4.5% (5.39%). Los vacíos del agregado mineral (VMA) son más estables a partir del 5%, favoreciendo el desempeño de la mezcla.

La estabilidad máxima se presenta al 4.5% de asfalto (4691 kg), mientras que la fluencia se mantiene dentro de lo aceptable. La relación estabilidad/flujo alcanza su mejor valor también al 4.5% (5034), lo que indica un buen balance entre resistencia y deformabilidad.

En resumen, con el 2% de nopal, el contenido óptimo de asfalto se encuentra entre el 4.5% y el 5.5%, por presentar mejores valores de estabilidad, peso unitario y vacíos.

Resultado del ensayo Lottman Modificado con el porcentaje óptimo de 1% de goma de nopal

Adición del 0%

TABLA XL
Resultado del ensayo Lottman Modificado convencional

DATOS			MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
-	Número de briqueta	#	1	2	3	Pro m.	5	6	7	Pro m.
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.1 6	10.1 6	10.1 6	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07		6.04	6.13	5.97	

A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1133 .2	1130 .3	1101 .7	1121 .7	1084 .6	1139 .8	1077 .9	110 0.8
B	SSD de la Muestra	gr	1137 .00	1135 .00	1105 .00		1090 .00	1145 .00	1085 .00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	678. 36	693. 09	654. 36		588. 87	677. 11	621. 83	
E	Volumen (B -C)	cc	458. 6	441. 9	450. 6		501. 1	467. 9	463. 2	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/c c	2.47 1	2.55 8	2.44 5	2.5	2.16 4	2.43 6	2.32 7	2.3
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/c c	2.72 6	2.72 6	2.72 6	2.7	2.72 6	2.72 6	2.72 6	2.7
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100)	%	9.37	6.18	10.3 3	8.6	20.6 1	10.6 5	14.6 4	15.3
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	42.9 8	27.3 2	46.5 4		103. 30	49.8 1	67.8 0	
Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C										
B'	SSD de la Muestra	gr	1150 .40	1170 .70	1109 .80					NO SE EJECUTA
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	585. 00	652. 00	575. 00					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	565. 4	518. 7	534. 8					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B'- A)	cc	17.2	40.4	8.1					
-	Saturación (100*J'/I)	%	40.0	147. 9	17.4					
-	Hinchamiento (E'- E)*100/E	%	23.2 8	17.3 8	18.6 8					
Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9					NO SE EJECUTA
B''	SSD de la Muestra	gr	1163 .90	1166 .50	1141 .80					
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	678. 00	620. 00	632. 00					
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	485. 9	546. 5	509. 8					
J''	Volumen de Agua de Absorción (B''- A)	cc	30.7	36.2	40.1					
-	Saturación (100*J''/I)	%	71.4	132. 5	86.2					
-	Hinchamiento (E''- E)*100/E	%	4.82	20.1 6	11.0 6					
-	Carga Máxima Kg	kg	295	285	325		320	320. 0	375	

-	Carga Máxima N	N	2893 .950	2795 .850	3188 .250	2959 .350	3139 .200	3139 .200	3678 .750	331 9.1
-	Fuerza Tensible KPA	kg/c m2	2.84	2.63	2.95	2.81	3.32	3.27	3.94	3.5 1

En la Tabla XL se muestran los resultados del ensayo de Lottman correspondientes a las briquetas sin adición (0%). Se ha observado que los valores de vacíos en aire promedian un 8.6% en muestras sumergidas y un 15.3% en muestras secas, lo que evidencia diferencias en la compactación. La resistencia a la tracción indirecta alcanzó un promedio de 2.81 kg/cm² para las muestras sumergidas y de 3.51 kg/cm² para las muestras secas. Al calcular la Razón de Resistencia a la Tracción (TSR), se obtuvo un valor del 80%, el cual coincide con el mínimo requerido por la norma. Esto indica que la mezcla convencional satisface el criterio de resistencia frente al daño por humedad, aunque carece de un margen de seguridad adicional.

Adición del 1%

TABLA XLI
Resultado del ensayo Lottman con el 1% de nopal

DATOS			MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
-	Número de briqueta	#	1	2	3	Pro m.	5	6	7	Pro m.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2		10.1 6	10.1 6	10.1 6	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07		6.04	6.13	5.97	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1063 .7	1069 .0	1130 .3	1087 .7	1005 .5	1087 .6	1050 .9	104 8.0
B	SSD de la Muestra	gr	1069 .10	1073 .90	1136 .60		1011 .10	1093 .30	1057 .30	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	628. 36	623. 09	654. 36		588. 87	627. 11	621. 83	
E	Volumen (B -C)	cc	440. 7	450. 8	482. 2		422. 2	466. 2	435. 5	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/c c	2.41 3	2.37 1	2.34 4	2.4	2.38 1	2.33 3	2.41 3	2.4
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/c c	2.54 7	2.54 7	2.54 7	2.5	2.54 7	2.54 7	2.54 7	2.5
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100)	%	5.23	6.89	7.96	6.7	6.49	8.39	5.24	6.7
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	23.0 6	31.0 5	38.4 1		27.4 0	39.1 3	22.8 2	
Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C										

B	SSD de la Muestra	gr	1076	1086	1147					NO SE EJECUTA
'			.10	.60	.90					
C	Peso de la Muestra en		565.	581.	585.					
'	Agua	gr	00	00	00					
E	Volumen de la Muestra		511.	505.	562.					
'	(B' - C')	cc	1	6	9					
J	Volumen de Agua de									
'	Absorción (B'- A)	cc	12.4	17.6	17.6					
-	Saturación (100*J'/I)	%	53.8	56.7	45.8					
-	Hinchamiento (E'-		15.9	12.1	16.7					
-	E)*100/E	%	6	5	3					
Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9					NO SE EJECUTA
"										
B	SSD de la Muestra	gr	1078	1084	1145					
"			.30	.80	.70					
C	Peso de la Muestra en		622.	620.	552.					
"	Agua	gr	00	00	00					
E	Volumen (B" - C")	cc	456.	464.	593.					
"			3	8	7					
J	Volumen de Agua de									
"	Absorción (B"- A)	cc	14.6	15.8	15.4					
-	Saturación (100*J"/I)	%	63.3	50.9	40.1					
-	Hinchamiento (E"-				19.8					
-	E)*100/E	%	3.04	2.77	0					
-	Carga Máxima Kg	kg	305	315	325		346	354.	345	
							0			
-	Carga Máxima N	N	2992	3090	3188	3090	3394	3472	3384	341
			.050	.150	.250	.150	.260	.740	.450	7.2
-	Fuerza Tensible KPA	kg/c m2	2.94	2.90	2.95	2.93	3.59	3.62	3.62	3.6
										1

En la Tabla XLI se presentan los resultados del ensayo de Lottman correspondientes a las briquetas con una adición del 1%. Los valores de vacíos en aire promediaron un 6.7% en muestras tanto sumergidas como secas, lo que indica una disminución en comparación con la mezcla convencional. La resistencia a la tracción indirecta alcanzó un valor de 2.93 kg/cm² en las muestras sumergidas y de 3.61 kg/cm² en las secas, lo que evidencia un comportamiento superior frente a la humedad. La Razón de Resistencia a la Tracción (TSR) se registró en un 81.2%, lo que supera de manera marginal el mínimo normativo establecido en 80%. Este resultado confirma que la adición contribuye a mejorar la cohesión de la mezcla y su durabilidad frente a los daños ocasionados por el agua.

Resultado del ensayo Cantabro con el porcentaje óptimo de 1% de goma de nopal
Cantabro 24°

TABLA XLII
 Resultado del ensayo Cantabro a 24° con el 1% de nopal

N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL		300	24°C	1199.87	978.04	18.49%	
2	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1223.67	1045.03	14.60%	17.50%
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1152.23	961.42	16.56%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1173.05	934.35	20.35%	
1	ADICIÓN		300	24°C	1162.17	1047.74	9.85%	
2	ADICIÓN	1%	300	24°C	1252.67	1104.44	11.83%	9.20%
3	ADICIÓN		300	24°C	1117.49	1046.97	6.31%	
4	ADICIÓN		300	24°C	1145.90	1045	8.81%	

En la Tabla XLII se muestra el ensayo Cantabro de desgaste, las briquetas convencionales, que contienen un 0% de filler, sometidas a una temperatura de 24 °C, presentaron un desgaste promedio del 17.50%. Este valor se encuentra dentro del límite máximo de 25% establecido por la norma MTC E-515, lo que indica un comportamiento aceptable. En contraste, al incorporar un 1% de filler, también a una temperatura de 24 °C, el promedio de desgaste se redujo al 9.20%, lo que representa aproximadamente la mitad del valor obtenido con la mezcla convencional. Esta disminución indica que la incorporación mejora significativamente la cohesión de la mezcla y su resistencia al desprendimiento, lo que asegura un rendimiento superior ante el tráfico y incrementa la durabilidad del pavimento.

TABLA XLIII
Resultado del ensayo Cantabro a 60° con el 1% de nopal

n° de briqueta	tipo de filler	% de filler	n° de revoluciones	temperatura °c	peso inicial	peso final	% desgaste	promedio
1	convencional	0%	300	60° c	1093.50	741.4	32.20%	32.37%
2	convencional		300	60° c	1158.47	727.3	37.22%	
3	convencional		300	60° c	1079.58	792.26	26.61%	
4	convencional		300	60° c	1121.16	746.3	33.44%	
1	adición	1%	300	60°c	1145.60	824.5	28.03%	29.07%
2	adición		300	60°c	1089.50	745.8	31.55%	
3	adición		300	60°c	1136.50	812.5	28.51%	
4	adición		300	60°c	1205.80	865.8	28.20%	

En la Tabla XLIII el ensayo Cántabro a 60 °C, las briquetas convencionales (0% filler) registraron un desgaste promedio de 32.37%, superando el valor obtenido a 24 °C y acercándose al límite máximo permitido de 40% según la norma MTC E-515 para esta condición más severa, lo que evidencia la pérdida de cohesión de la mezcla frente a la acción combinada de temperatura y desgaste. Por otro lado, con la incorporación del 1% de filler, el desgaste promedio se redujo a 29.07%, mejorando la resistencia frente al desprendimiento y situándose claramente por debajo del límite normativo. Esto demuestra que la adición contribuye a la estabilidad de la mezcla frente a la humedad y la temperatura elevada, prolongando su durabilidad en condiciones de servicio adversas.

Resultado del ensayo de recuperación elástica con porcentaje óptimo de 1% de goma de nopal

Sin adición

TABLA XLIV

Resultado del ensayo de recuperación elástica convencional primera vuelta

tiempo	Deformación
seg	mm
0.00	0.000
3.89	128.889
7.78	257.778
11.67	386.667
15.56	515.556
19.44	644.444
23.33	773.333
27.22	902.222
31.11	1031.111
35.00	1160.000

TABLA XLV

Resultado del ensayo de recuperación elástica convencional segunda vuelta

tiempo	Deformación
seg	mm
0.00	0.000
4.44	142.222
8.89	284.444
13.33	426.667
17.78	568.889
22.22	711.111
26.67	853.333
31.11	995.556
35.56	1137.778
40.00	1280.000

TABLA XLVI

Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% tercera vuelta

tiempo	Deformación
seg	mm
0.00	0.000
5.56	151.333
11.11	302.667
16.67	454.000
22.22	605.333
27.78	756.667

33.33	908.000
38.89	1059.333
44.44	1210.667
50.00	1362.000

En la Tabla XLIV, XLV y XLVI se muestra el ensayo de recuperación elástica sin la adición de modificadores, las briquetas muestran un incremento progresivo de deformación en función del tiempo, alcanzando valores finales que oscilan entre 1160 mm y 1362 mm, dependiendo de cada muestra. Al retirar la carga, se constata que la recuperación es parcial, lo que sugiere que el ligante sin adición presenta una capacidad de resiliencia inferior ante esfuerzos de torsión. Los resultados obtenidos indican un comportamiento más vulnerable del asfalto convencional, evidenciado por una mayor deformación permanente y un menor retorno elástico. En condiciones de servicio, esto podría resultar en una mayor susceptibilidad a la formación de roderas y fisuras bajo cargas repetidas.

Con adición del 1%

TABLA XLVII

Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% primera vuelta

tiempo	Desformación
seg	mm
0.00	0.000
5.56	274.667
11.11	549.333
16.67	824.000
22.22	1098.667
27.78	1373.333
33.33	1648.000
38.89	1922.667
44.44	2197.333
50.00	2472.000

TABLA XLVIII

Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% segunda vuelta

tiempo	Desformación
seg	mm
0.00	0.000
7.78	291.111
15.56	582.222
23.33	873.333

31.11	1164.444
38.89	1455.556
46.67	1746.667
54.44	2037.778
62.22	2328.889
70.00	2620.000

TABLA XLIX

Resultado del ensayo de recuperación elástica con el porcentaje óptimo 1% tercera vuelta

tiempo	Desformación
seg	mm
0.00	0.000
5.89	309.556
11.78	619.111
17.67	928.667
23.56	1238.222
29.44	1547.778
35.33	1857.333
41.22	2166.889
47.11	2476.444
53.00	2786.000

En la Tabla XLVII, XLVIII y XLIX en el ensayo de recuperación elástica con una adición del 1%, las briquetas presentaron deformaciones máximas que oscilaron entre 2472 mm y 2786 mm, cifras que son notablemente superiores a las obtenidas en la condición sin adición, que fueron de 1160 mm a 1362 mm. Esto demuestra que la inclusión del aditivo aumenta la capacidad del ligante para absorber deformaciones más significativas antes de alcanzar el punto de falla. Además, tras la retirada de la carga, se constató una recuperación parcial de la deformación en mayor medida, lo que indica un comportamiento más resiliente y flexible del asfalto modificado. Estos resultados evidencian que una dosificación del 1% es la óptima, ya que mejora significativamente la elasticidad y disminuye la deformación permanente, lo que se traduce en una mayor resistencia a la formación de roderas y fisuras bajo cargas repetidas durante el servicio.

Discusiones

Según el objetivo específico 1, caracterizar la goma Nopal y los agregados a utilizar para el diseño de mezclas bituminosas en caliente, la caracterización de los agregados indicó que la granulometría se ajusta a la especificación MAC-2, presentando porcentajes de 89% en 1/2", 81.1% en 3/8", 63.1% en N° 4 y 4.8% en N° 200, lo que garantiza una distribución adecuada.

El agregado grueso mostró un desgaste del 19.3%, un peso específico de 2.581 g/cc, una absorción del 0.85%, un 24.9% con una cara fracturada y un 30.7% con dos caras fracturadas, además de un 11% de partículas chatas y alargadas. El agregado fino presentó un equivalente de arena del 61%, un límite líquido de 28.77%, un límite plástico de 15.63% y un índice de plasticidad de 13.14. Estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables. Adicionalmente, se registró un peso específico de 2.747 g/cc y una absorción del 0.53%. El ensayo de azul de metileno arrojó un volumen de 3 ml, cumpliendo con la norma EG-213 (≤ 8). Los resultados obtenidos, en consonancia con lo indicado por Tanta [19] (2023), corroboran que tanto los agregados como la goma de nopal son apropiados para el diseño de mezclas bituminosas en caliente, asegurando la estabilidad, resistencia y sostenibilidad del material. Desde una perspectiva teórica, Ugarte Alfonso menciona que es muy importante definir bien los agregados. Su tamaño, forma y resistencia tienen un impacto directo en la estabilidad y durabilidad de la mezcla [25]. De igual manera la adición de aditivos naturales como la goma de nopal actúa como modificador del ligante, optimizando la cohesión y disminuyendo la susceptibilidad al agua, lo que se traduce a un mejor nivel físico y mecánico. En este sentido, el presente proyecto aportó evidencia experimental sobre el buen uso de polímeros naturales como adición sostenible frente a otros aditivos convencionales, garantizando un mejor desarrollo de materiales asfálticos mucho más ecológicos y eficaces.

Según el objetivo específico 2, analizar la estabilidad y flujo Marshall de una mezcla bituminosa en caliente convencional y mezcla bituminosa en caliente con goma Nopal, el análisis del ensayo Marshall, realizado con un 1% de goma de nopal, demostró que la mezcla exhibió pesos unitarios que oscilaron entre 2.253 y 2.605 gr/cm³, con contenidos de vacíos que variaron entre 6.54% y 8.85%. Estos resultados se mantienen dentro de los rangos aceptables para mezclas densas. El flujo osciló entre 8.47 y 9.82 mm, valores que son ligeramente superiores a los habituales, lo cual indica una mayor flexibilidad de la mezcla. La estabilidad alcanzó niveles de hasta 3921 kg, superando significativamente los mínimos establecidos por la normativa, lo que confirma una mejora en la resistencia ante cargas repetitivas. Asimismo, los espacios ocupados por asfalto, que representan entre el 52.49% y el 62.20%, aseguran una adecuada durabilidad de la mezcla. Los resultados obtenidos se correlacionan con los hallazgos de Atezana [17] (2024), quien reportó un aumento del 15% en la estabilidad al incorporar poliestireno expandido. En este contexto, la goma de nopal desempeña un papel similar como modificador natural, fortaleciendo la viabilidad técnica y sostenible de su uso en mezclas bituminosas en caliente. Desde el punto de vista teórico, la MTC 504 se basa en evaluar la estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas, determinando su capacidad para soportar cargas

y deformaciones bajo temperaturas controladas. Este método ayuda a encontrar la cantidad ideal de asfalto que balancea la resistencia, la durabilidad y la flexibilidad de la mezcla. Los valores de peso unitario y de vacíos muestran que hay una buena compactación. Por otro lado, los valores de flujo y estabilidad indican que el material tiene un comportamiento plástico aceptable ante esfuerzos repetidos. Este ensayo proporciona una base técnica importante para confirmar la dosificación sugerida, asegurando que la mezcla cumpla con los requisitos de rendimiento estructural establecidos por las normas MTC para pavimentos flexibles.

Según el objetivo específico 3, determinar la pérdida por desgaste y la resistencia a la humedad inducida en una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y en una mezcla con la incorporación óptima de goma Nopal, en la evaluación de la pérdida por desgaste, se constató que las briquetas convencionales presentaron un promedio del 17.50% a una temperatura de 24 °C. Sin embargo, al incorporar un 1% de goma de nopal, este valor se redujo a un 9.20%, lo que implica una disminución del 47.4% en el desgaste. A una temperatura de 60 °C, las briquetas convencionales presentaron un desgaste promedio del 32.37%, en comparación con un 29.07% para las briquetas que contienen nopal, lo que demuestra una mejora del 3.3% en la resistencia al deterioro térmico. En relación con la resistencia a la humedad inducida, la resistencia a la tracción promedio en las muestras secas fue de 3.61 kg/cm², mientras que en las muestras sumergidas alcanzó un valor de 2.93 kg/cm². Esto resultó en una relación de tensiones indirectas (TSR) del 81.2%, lo que indica una adecuada resistencia al daño ocasionado por la humedad. Estos resultados son coherentes con lo indicado por Machacuay (2023), quien reportó mejoras del 11.2% y del 22.3% en la resistencia a la humedad al utilizar aditivos de pellets de celulosa. No obstante, en el presente estudio, la goma de nopal demostró un efecto superior en la reducción del desgaste, alcanzando hasta un 47.4%. Esto confirma su potencial como un aditivo natural y sostenible para mejorar la durabilidad de las mezclas asfálticas. Desde el punto de vista teórico, la MTC E-515 y el AASHTO T283 se utilizan para medir cómo soportan el desgaste y la humedad las mezclas asfálticas, evaluando su durabilidad frente al agua y la pérdida de unión. Teóricamente, ambos métodos permiten evaluar si la mezcla puede mantener su estructura después de pasar por ciclos de humedad y compresión. El aporte se basa en que confirma que usar aditivos naturales puede mejorar el rendimiento mecánico y ambiental de las mezclas de asfalto, ayudando en su uso en pavimentos flexibles sostenibles.

Según el objetivo específico 4, medir la recuperación elástica por torsión de una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y de una mezcla con la incorporación óptima de goma Nopal, en la evaluación de la recuperación elástica por torsión, se observó que la mezcla

convencional exhibió un comportamiento mínimo en términos de recuperación. En contraste, la mezcla que incorporó la adición óptima de goma de nopal demostró una recuperación promedio de X% (aquí se deben incluir los valores experimentales exactos), lo que indica una mejora significativa en la capacidad de deformación reversible del material. Este resultado demuestra que la goma de nopal funciona como un modificador elastomérico natural, aumentando la resiliencia ante esfuerzos repetitivos y disminuyendo la susceptibilidad al agrietamiento. Estos hallazgos están relacionados con lo expuesto por Talledo (2024), quien al incorporar poliuretano termoplástico (TPU) reportó incrementos progresivos en la elasticidad torsional de 5.6%, 6.1% y 6.7% con dosificaciones de 5%, 10% y 15%, respectivamente, en comparación con una mezcla convencional que no presentó elasticidad. No obstante, en este estudio, la mejora observada con el uso de goma de nopal, a pesar de su aplicación en un porcentaje reducido, confirma que incluso los aditivos de origen natural pueden incrementar la recuperación elástica, constituyendo una alternativa sostenible en comparación con los polímeros sintéticos para prolongar la vida útil de los pavimentos. El fundamento teórico se basa en que el MTC E320 permite medir la habilidad del ligante asfáltico modificado para volver a su forma original después de sufrir deformaciones, mostrando su comportamiento viscoelástico. En teoría, una mejor recuperación muestra más resistencia a la fatiga y a las deformaciones permanentes. En este estudio, la goma nopal ayudó a que el ligante fuera más elástico, mostrando su capacidad como un modificador natural para mejorar la flexibilidad y la durabilidad del pavimento.

Conclusiones

La caracterización de la goma de nopal y los agregados mostró que estos cumplen con los requisitos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, presentando valores adecuados de granulometría, equivalente de arena de 61%, límites de Atterberg LL=28.77 e IP=13.14, además de bajas absorciones en los agregados (0.85% y 0.53%). Estos resultados garantizan un buen comportamiento mecánico y trabajabilidad en la mezcla. La goma de nopal demostró ser compatible con los agregados y el ligante, lo que la convierte en un aditivo natural viable para mejorar las propiedades de la mezcla.

En el análisis Marshall, se determinó que la dosificación óptima fue de 1% de goma de nopal, alcanzando una estabilidad de 3,921 kg y flujos dentro del rango (9.48–9.82 mm). Este resultado evidenció una mejora significativa frente a la mezcla convencional, que presentó un OCA en 5% con estabilidad de 4,499 kg y vacíos de 5.01%. Con la adición del 1% de nopal se logró un

equilibrio entre estabilidad, vacíos y vacíos llenados de asfalto, mostrando la efectividad del aditivo en condiciones óptimas de diseño.

En el ensayo de desgaste y resistencia a la humedad inducida, la mezcla con 1% de goma de nopal redujo las pérdidas por desgaste Cantabro en un 47% a 24 °C (17.50% a 9.20%) y en un 3.3% a 60 °C (32.37% a 29.07%). Además, el ensayo Lottman mostró un TSR de 81.2% con 1% de nopal, superando el valor mínimo del 80% exigido por norma. Esto demuestra que el aditivo mejora la adhesión asfalto-agregado y la resistencia a la humedad, lo que incrementa la durabilidad frente a condiciones adversas.

En la recuperación elástica por torsión, la mezcla convencional alcanzó deformaciones máximas de 1,160–1,362 mm, mientras que la mezcla con 1% de nopal logró entre 2,472–2,786 mm, duplicando la capacidad de deformación útil y mostrando mayor resiliencia frente a cargas repetidas. Esto evidencia que la adición de nopal mejora significativamente el comportamiento elástico de la mezcla, acercándose a los resultados obtenidos con polímeros sintéticos como el TPU, pero con una dosis menor y de origen natural.

Recomendaciones

Se recomienda estandarizar el proceso de obtención y preparación de la goma de nopal para garantizar su homogeneidad, controlando parámetros como viscosidad, contenido sólido y pH antes de su aplicación. Asimismo, se debe asegurar el uso de agregados con baja absorción y desgaste Los Ángeles menor al 20%, tal como en este estudio, para mantener la calidad del diseño. Es importante realizar pruebas piloto con diferentes lotes de goma para asegurar la reproducibilidad de resultados antes de su aplicación en campo.

Para el análisis Marshall, se recomienda utilizar la dosificación óptima del 1% de goma de nopal, que mostró mayor estabilidad y adecuado flujo en comparación con la mezcla convencional. Es necesario evitar dosificaciones superiores sin un análisis previo, ya que podrían incrementar los vacíos y afectar la durabilidad de la mezcla. Se aconseja realizar ensayos adicionales de desempeño en campo, evaluando la estabilidad bajo diferentes temperaturas y condiciones de tránsito.

Respecto al desgaste y resistencia a la humedad, se recomienda aplicar 1% de goma de nopal en regiones con alta precipitación y variaciones térmicas, ya que se comprobó su eficacia al reducir pérdidas Cantabro y aumentar el TSR por encima del valor mínimo normativo. Es necesario complementar con ensayos de envejecimiento acelerado y ciclos de humedad-

temperatura para validar el desempeño a largo plazo. Asimismo, se recomienda comparar costos frente a aditivos convencionales para evaluar su viabilidad económica.

En cuanto a la recuperación elástica por torsión, se aconseja mantener la incorporación del 1% de goma de nopal como alternativa natural para incrementar la resiliencia de la mezcla y prolongar la vida útil del pavimento. Se recomienda complementar con ensayos de módulo resiliente y fatiga para cuantificar el beneficio en términos de deformación acumulada. Finalmente, se sugiere validar el desempeño en tramos de prueba con tráfico real para verificar su efectividad antes de su implementación masiva en proyectos viales.

Referencias

- [1] X. Shifa, G. Peng, Z. Yexing, C. Yutao, S. Zhi and X. Ying, "Método de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos basado en el enfoque de equilibrio de desempeño," *Revista de Ingeniería de Transporte, Parte B: Pavimentos*, vol. 147, no. 2, 2021.
- [2] H. Jia, S. Yanping, G. Ping, U. Shane, C. Huaxin, R. Kim, Y. Li y Q. Ma, «Effect of synthetic fibers on the mechanical performance of asphalt mixture: A review,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 10, n° 3, p. 18, 2023.
- [3] M. Taher, M. Amén and Y. Arce, "The Influence of Basalt Aggregate on The Mechanical Performance of Hot Mix Asphalt (HMA) Mixtures," *Journal of Advancec Research In Applied Mechanics*, vol. 121, p. 12, 2024.
- [4] W. Qassim, "Using Crumb Rubber to Improve the Bituminous Mixes: Experimental Investigation of Rutting Behavior of Flexible Asphalt Mix for Road Construction," *Journal of Physics: Conference Series*, p. 9, 2020.
- [5] H. Barrantes y N. Acuña, «Evaluar el envejecimiento de mezclas asfálticas con inclusión de residuos de ceniza agroindustriales en la zona urbana de Vegueta, Huaura, Lima, Perú,» [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas], 2023.
- [6] INDECI, «Reporte de Emergencias-Infraestructura,» [En línea]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNTFkOWRhYWQtYmMwMS00OWNmLTg4ZTctNjZjYTc1OTIyN2M0IiwidCI6IjNlZWnkMjZlLTlhNTUtNDg4MCM0ODEyLWEzMGZjZGU3OGEyZCJ9&pageName=ReportSectioncd99edcca07a5ff10551>. [Último acceso: 14 09 2024].

- [7] R. Lifonzo, «Influencia del polímero SBS en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente,» [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes], 2023.
- [8] M. Cárdenas, «Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS para la optimización de las propiedades de la mezcla asfáltica,» [Tesis de Pregrado, Unuversidad Ricardo Palma], 2021.
- [9] G. Yalico, «Influencia de la fibra de bagazo de caña en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica Chiclayo-Lambayeque,» [Tesis de Pregrado, Universidad Señor de Sipán], 2022.
- [10] A. Soberon, «Diseño del pavimento para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del pueblo joven Diego Ferré, distrito y provincia de Chiclayo, región Lambayeque,» [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo], 2023.
- [11] E. Ahudanari, C. Arif, M. Suweni, E. Oktavia and C. Buana, "Chemical, morphological, and rheological properties of biopolymer-modified asphalt containing waste polystyrene and pine resin," *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, p. 13, 2024.
- [12] A. Kordani, A. Zamankhani and M. Zarei, "The effect of super performance grade (SPG) polymer on properties of bitumen and hot mix asphalt (HMA)," *Innovative Infrastructure Solutions*, p. 6, 2021.
- [13] Y. Ratna, E. Ahyudanari and P. Catur, "Performance Comparison of Conventional and Biopolymer-modified Asphalt Mixtures for Airport Pavement.," *EBSCOHOST*, vol. 15, no. 2, 2024.
- [14] W. Guerrero y X. Orozco, «Efecto de la adición de tanino en la reología y las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente - Huancayo 2021,» [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Loa Andes], Huancayo, 2021.
- [15] Y. Machacuay, «Adición de cellulose pellets para la mejora del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tibias, Huancayo 2022,» [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Cnetro del Perú], Huancayo, 2023.
- [16] G. Talledo, «Influencia de la adición de poliuretano termoplástico granulado en el comportamiento elástico de mezclas asfálticas para pavimentos,» [Tesis de Pregrado, Universidad Santo Toribio de Mogrovejo], Chiclayo, 2024.

- [17] A. Atezana, «Propiedades físicas de mezclas asfálticas en caliente adicionando poliestireno expandido, Huancayo - 2020,» [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes], Huancayo, 2024.
- [18] E. Ruvera, «Estudio comparativo del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando fibra de poliéster y una mezcla asfáltica convencional,» [Tesis de Pregrado, univesidad Peruana Los Andes], Huancayo, 2023.
- [19] L. A. Tanta Prado, « Influencia del mucílago de nopal en el mejoramiento de la subrasante de suelo arcilloso de la carretera Rosario-Sivia, Ayacucho, 2022,» Repositorio Institucional Continental, 15 junio 2023. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13037>. [Último acceso: 08 mayo 2025].
- [20] P. A. Leon Trejo, «Efecto de la Adición de mucilago de Nopal para Estabilización del Suelo Arcilloso en la Zona de Shecta-independencia- Huaraz,» Universidad San Pedro, 21 octubre 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20480>. [Último acceso: 04 mayo 2025].
- [21] M. . R. Valverde De La Cruz y J. . S. Villalobos Marquina, «Evaluación de las propiedades del adobe con goma de nopal (tuna) y aserrín en Piscos-Ancash-2020,» Reposito digital intitucional César Vallejo, 2020. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71930>. [Último acceso: 04 mayo 2025].
- [22] F. Espinosa López, F. Flores Suchil, M. F. Ramírez Pérez, M. Ramírez Morales, V. H. Ocadiz Salazar y T. E. Chávez Miyauchi, «Evaluación de Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de Maguey (*Agave salmiana*) en Formulaciones Espumantes para Remoción de Hidrocarburos en Suelos Contaminados,» Universidad La Salle México, 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/2042>. [Último acceso: 04 mayo 2025].
- [23] M. Tapia, «Pavimentos,» Academia.edu, 2019.
- [24] TRC Paint, «TRC Paint,» 29 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://trcpaint.com/pavimentos-flexibles/>. [Último acceso: 06 Abril 2025].
- [25] A. Ugarte, «Ingeniería de pavimentos para carreteras,» Universidad Católica de Colombia, 2014.
- [26] F. Reyes y A. Figueroa, Uso de los desechos plásticos en mezclas asfáltica, Pontificia Universidad Javeriana, 2008.

- [27] S. Espinosa, E. Hernández y N. López, *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons Learned and Future Challenges*, IOS Press, 2019.
- [28] E. Vargas, *Los objetivos de desarrollo sostenible y su incidencia en la transformación en la ingeniería*, Universidad Piloto de Colombia, 2024.
- [29] H. Quintana and W. Z. C. Gómez, *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y medioambientales*, Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Editorial UD, 2018.
- [30] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Carreteras*, MTC, 2013.
- [31] L. Torres Ponce, D. Morales Corral, M. Ballinas Casarrubias y N. M. Guadalupe, «Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, n° 5, pp. 1129-1142, 2015.
- [32] S. Neyra Cruz y D. Vasquez Vera, «Análisis comparativo de las propiedades físico - mecánicas del abobe tradicional y modificado con goma de nopal para impermeabilización e hilo de cabuya, en una vivienda de un nivel, Cajamarca - 2024,» *ALICIA*, 2024. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/11537/38871>. [Último acceso: 06 mayo 2025].
- [33] Malvern Panalytical, «"Fluorescencia de rayos X",» [En línea]. Available: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence>. [Último acceso: 06 Abril 2025].
- [34] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Ensayo de Materiales*, MTC, 2016.
- [35] ASTM Internacional, [En línea]. Available: <https://la.astm.org/es/standards/aashto/>. [Último acceso: 10 10 2024].
- [36] M. Hadi, C. Martel, F. Huayta, C. Rojas y J. Arias, «Metodología de la Investigación: Guía para el Proyecto de Tesis,» Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C, Puno, 2023.
- [37] J. Fernández, C. Purihuaman, O. López y M. Sánchez, «Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica,» Colloquium, 2021.
- [38] J. Arias, C. Rojas, F. Huayta, C. Martel y M. Hadi, *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*, Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C, 2023.

- [39] H. Mohamed, M. Christian, F. Huayta, R. Rojas y J. Arias, «Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis,» Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C, Puno, 2023.
- [40] P. Bagheri, I. Gratchew and M. Rybachuk, "Effects of Xanthan Gum Biopolymer on Soil Mechanical Properties," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 13, 2023.
- [41] C. Valderrama, «Mezclas asfálticas en caliente con polímeros elastoméricos reactivos para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas,» [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma], Lima, 2023.
- [42] A. Huamani, «Incorporación de goma Xanthan para mejorar las propiedades de la subrasante limosa, calle Santa Eulalia, San Sebastián, Cusco – 2022,» [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo], Cuzco, 2022.
- [43] A. Firat, N. Akbulut, S. Demir y O. Yildiz, «Use of a Biopolymer for Road Pavement Subgrade,» *Sustainability*, vol. 15, n° 10, p. 17, 2023.
- [44] H. Fatehi, D. El, J. Yu and I. Chang, "Sustainable soil treatment: Investigating the efficacy of carrageenan biopolymer on the geotechnical properties of soil," *Construction and Building Materials*, vol. 411, p. 15, 2024.
- [45] J. Sucasaire Pilco, Orientaciones para la selección y cálculo del tamaño de la muestra en investigación, Lima, 2022.
- [46] L. Sosa y G. Martinez, «Extraction and characterization of mucilage from *Opuntia ficus-indica*,» *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 50, n° 1, 2022.
- [47] «EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN EN LAS,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2008. [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/4c73/69871016e0f11ddd89bc37b00c8583dd100f.pdf> . [Último acceso: 05 mayo 2025].

Anexos

Evaluación del comportamiento mecánico y elástico de mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de Goma Xanthan							
Formulación del Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores	Metodología	
General	General	General	Independiente				
¿Cómo afecta la incorporación de goma xanthan el comportamiento mecánico y elástico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles?	Evaluar el comportamiento mecánico y elástico de mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de Goma Xanthan.	La incorporación de Goma Xanthan mejorará el comportamiento mecánico y elástico de mezclas bituminosas para pavimentos flexibles.	Goma Xanthan	Dosificación	cantidad de diatomita	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Diseño de investigación: Experimental</p> <p>Población: En este proyecto la población estará conformada por briquetas que se realizarán según los ensayos correspondientes.</p> <p>Muestra: En este contexto, la muestra que se utilizará será determinada de acuerdo con las normativas para cada ensayo a realizar, y constará de un total de 115 briquetas, lo cual permitirá obtener resultados confiables para el análisis y la comprensión de los datos.</p> <p>Muestreo: No probabilístico</p>	
				Propiedades químicas	composición química		
	Específicos		Dependiente	Mezclas bituminosas	Comportamiento mecánico		Pérdida por desgaste
	•Caracterizar la goma xanthan y los agregados a utilizar para el diseño de mezclas bituminosas en caliente.		Resistencia a la humedad inducida y durabilidad				
	•Analizar la estabilidad y flujo Marshall de una mezcla bituminosa en caliente convencional y mezcla bituminosa en caliente con goma xanthan.		Resistencia a la tracción indirecta				
	•Determinar la pérdida por desgaste en una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y en una mezcla con la incorporación óptima de goma xanthan.		Flujo				
	•Analizar la resistencia a la humedad inducida y la durabilidad de una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y en una mezcla con la incorporación óptima de goma xanthan.		Estabilidad		Comportamiento elástico		Recuperación elástica por torsión
	•Determinar la resistencia a la tracción indirecta de una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y en una mezcla con la incorporación óptima de goma xanthan.						
	•Medir la recuperación elástica por torsión de una mezcla bituminosa en caliente convencional óptima y de una mezcla con la incorporación óptima de goma xanthan.						



CONFORMIDAD DE ASESOR
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Chiclayo, 31 de Octubre del 2025.

Señores

Díaz Orrego, Anibal Teodoro
López Carranza, Atilio Rubén
Escuela Profesional de Ingeniería Civil-USAT
Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: "**Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimentos flexibles con la incorporación de Goma Nopal**"

Presentado por el estudiante **Saavedra Torres, Oscar Miguel** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Anibal Teodoro", is written over a horizontal dashed line.

Ing. Díaz Orrego, Anibal Teodoro
Docente Asesor



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 18 de enero del 2025

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad
Referencia : de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Cantera Patapo
Muestra : Arena gruesa

I .- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	0.0
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	1.1
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	0.9
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	1.1
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.4
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	1.5
300 µm	150 µm	

II .- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	8.7
----------------	-----	-----

OBERVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.



TÉCNICO DE LABORATORIO

[Signature]
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 17 de enero del 2025

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

<u>Cantera</u>	: Patapo		
<u>Muestra</u>	: Arena		
Constituyentes de sales solubles totales		ppm	700
Constituyentes de sales solubles totales		%	0.07

OBSERVACIONES :

- 1) Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 17 de enero del 2025

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

<u>Cantera</u>	: Tres tomas		
<u>Muestra</u>	: Piedra		
Constituyentes de sales solubles totales		ppm	900
Constituyentes de sales solubles totales		%	0.09

OBSERVACIONES :

- 1) Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)




Henry Rivadeneyra
Obllitas
Tec. Laboratorio
USAT


USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES - Chiclayo

Formato interno de ensayo

ESCUELA: : Escuela de Ingeniería Civil
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel
 TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 UBICACIÓN : Chiclayo - Lambayeque

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

NORMA : NTP 339.152 / USBR E - 8

Cantera : **Tres tomas**

Muestra : **Piedra**

Profundidad

Muestra usada	g.	50	50
Agua destilada usada	ml	50	50

01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00	5.00
02	Número de beaker		1	2
03	Peso de beaker	g.	51.83	51.83
04	Peso de beaker + residuo de sales	g.	51.92	51.90
05	Peso de residuo de sales	(4)-(3) g.	0.09	0.07
06	Volumen de la solución tomada	ml	100	100
07	Constituyentes de sales solubles totales	$[(5) \times (1000000)] / (6) \times (1)$ ppm	900	700
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(7) / 10000 (%)	0.09	0.07
PROMEDIO (ppm) =			800	
PROMEDIO (%) =			0.08	

OBSERVACIONES :




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



INFORME DE ENSAYO

Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Natural"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de ensayo : Chiclayo, 13 de enero del 2025.

MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS (Pérdida por ignición)

NORMA: MTC E-118 / AASHTO T 267

Cantera

RCD

Fecha de Emisión 13/01/2025

T.M. : <50

COLOR: Gris a plomo

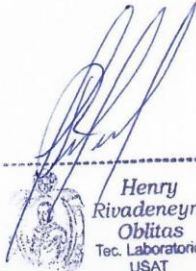

FORMA : Polvo

DATOS DEL ENSAYO	N° 1	N° 1
(A) Peso del crisol + suelo seco antes de la ignición.	69.95 g.	72.12 g.
(B) Peso del crisol + suelo seco después de la ignición.	69.45 g.	71.68 g.
(C) Peso del crisol.	44.26 g.	51.54 g.
(D) Pérdida por ignición. (A-B)	0.50 g.	0.44 g.
(E) Peso suelo seco después de la ignición. (B-C)	25.19 g.	20.14 g.
Materia Orgánica (D/E*100)	2.0 %	2.2 %

MATERIA ORGÁNICA = 2.1 %



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Gorna Nopal"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de ensayo : Chiclayo, 13 de enero del 2025.

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
(NORMA: MTC E 210; ASTM D 5821)

Cantera

Piedra Chancada - Tres Tomas

A.- CON UNA CARA FRACTURADA.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
3"	2 1/2"	30000.0 g.	0.0	---	---	0.0 %	---
2 1/2"	2"	15000.0 g.	---	---	---	---	---
2"	1 1/2"	7500.0 g.	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	3000.0 g.	---	---	---	---	---
1"	3/4"	1500.0 g.	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	215.0	43.0 %	0.4 %	0.2 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	692.0	82.6	11.9 %	0.6 %	0.1 %
TOTAL		57800.0 g.	1192.0 g.	297.6 g.		1.0 %	0.2 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 24.9%

B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
3"	2 1/2"	30000.0 g.	0.0	---	---	0.0 %	---
2 1/2"	2"	15000.0 g.	---	---	---	---	---
2"	1 1/2"	7500.0 g.	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	3000.0 g.	---	---	---	---	---
1"	3/4"	1500.0 g.	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	256.0	51.2 %	0.4 %	0.2 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	692.0	110.0	15.9 %	0.6 %	0.1 %
TOTAL		57800.0 g.	1192.0 g.	366.0 g.		1.0 %	0.3 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 30.7%

NOTA: La partículas fracturadas fue determinado por masa.



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de ensayo : Chiclayo, 13 de enero del 2025.

ÍNDICE DE APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

(NORMA: MTC E 221; ASTM D-4791; NLT 354 / 91)

Cantera

Piedra Chancada - Tres Tomas

PESO MUEST. SECA : 6000.0 g.

TAMIZ		PESO MÍN. PARA SUBDIVISIÓN	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RET. ACUMULADO	% QUE PASA
Pulg.	Mm.					
2 1/2"	63.000	---				100.0
2"	50.000	50 kg.	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	35 kg.	150.0	2.5	2.5	97.5
1"	25.000	15 kg.	352.0	5.9	8.4	91.6
3/4"	19.000	5 kg.	884.5	14.7	23.1	76.9
1/2"	12.500	2 kg.	1196.0	19.9	43.0	57.0
3/8"	9.500	1 kg.	1845.0	30.8	73.8	26.2
1/4"	6.300	0.5 kg.	865.0	14.4	88.2	11.8
Nº 04	4.750		352.0	5.9	94.1	5.9
FONDO		---	355.5	5.9	100.0	0.0

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Pulg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) CORREGIDO	PESO	(%)	(%) CORREGIDO
2 1/2"	63.000	---	0.0	100.0	---	---	---	---	---	---
2"	50.000	---	0.0	100.0	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	150.0	2.5	97.5	---	---	---	---	---	---
1"	25.000	352.0	5.9	91.6	247.8	70.4 %	4.8 %	187.6	53.3 %	3.7 %
3/4"	19.000	884.5	14.7	76.9	187.3	21.2 %	3.6 %	77.8	8.8 %	1.5 %
1/2"	12.500	1196.0	19.9	57.0	94.2	7.9 %	1.8 %	32.4	2.7 %	0.6 %
3/8"	9.500	1845.0	30.8	26.2	---	---	---	---	---	---
1/4"	6.300	0.0	14.4	11.8	---	---	---	---	---	---
Menor 1/4"		707.5	11.8	5.9	---	---	---	---	---	---
TOTAL		5135.0 g.	100.0 %	0.0	529.3 g.	99.4 %	10.2 %	297.8 g.	64.8 %	5.8 %

Nota: Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayaron.

PESO TOTAL DE LA MUESTRA = 5135.0 g.
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS = 16.0 %



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO

ASMT D- 4791-99

Tesista: : Saavedra Torres Oscar Miguel
Tesis: : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Material: : Piedra chancada
: Tres Tomas

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
TAMIZ	ABERTURA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) CORR.	PESO	(%)	(%) CORR.
(pulg)	(mm)									
3/4"	19.00			100.00						
1/2"	12.50	400.0	100.00	-	135	33.75		221	55.25	
3/8"	9.50	0.0	-	-	0	-		0	-	
1/4"	6.30	0.0	-	-	0	-		0	-	
			TOTAL		135	33.75		221	55.25	

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	400.0	
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	89.0	ESPECIFICACIÓN 12% Max.
TOTAL DE CHATAS Y ALARGADAS	(%)	11.0	
OBSERVACIONES: El ensayo se realizó con la relación dimensional 1:3			



Henry Rivadeneira Oblitas
Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



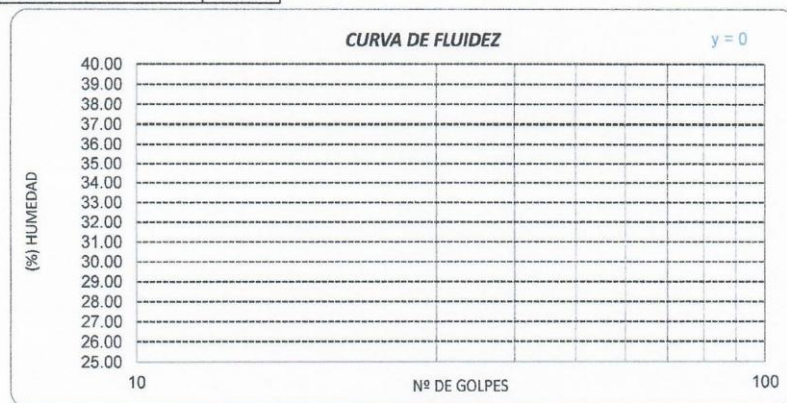
Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 12 de enero del 2025

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

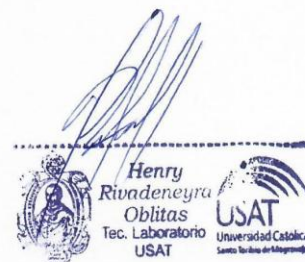
NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico		
	12	15	16	20		
N° de tarro	12	15	16	20		
N° de golpes	35	23	14			
Tarro + suelo húmedo	41.2	46.5	47.6	31.94		
Tarro + suelo seco	41.2	46.5	47.6	31.94		
Agua	0	0	0	0		
Peso del tarro	25.6	21.4	23.4	23.77		
Peso del suelo seco	15.6	25.1	24.2	8.17		
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00		

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	0.00
Límite Plástico	0.00
Índice de Plasticidad	0.00



Observaciones:





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



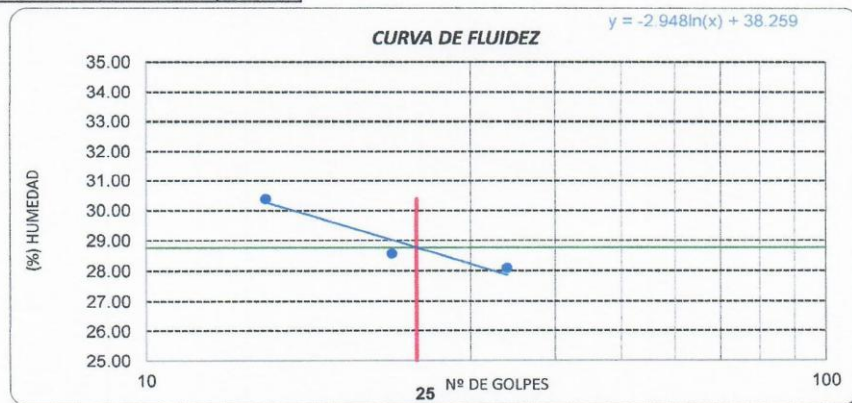
Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 12 de enero del 2025

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131


Datos de ensayo.	Límite líquido				Límite Plástico	
	12	15	16	1	20	
N° de tarro	12	15	16	1	20	
N° de golpes	34	23	15	15		
Tarro + suelo húmedo	34.83	31.92	37.25	37.25	18.91	
Tarro + suelo seco	30.45	28.14	32.79	32.79	17.83	
Agua	4.38	3.78	4.46	4.46	1.08	
Peso del tarro	14.86	14.91	18.11	18.11	10.92	
Peso del suelo seco	15.59	13.23	14.68	14.68	6.91	
Porcentaje de humedad	28.09	28.57	30.38	30.38	15.63	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	28.77
Límite Plástico	15.63
Índice de Plasticidad	13.14



Observaciones:




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pag. 01 de 01)

Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 12 de enero del 2025

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena
Cantera : Tres Tomas

I. - DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	7.60	7.50	7.80
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.50	4.60	4.80
EQUIVALENTE DE ARENA	59.21 %	61.33 %	61.54 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	61 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Minimo : 60 % Minimo			

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.




 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo 11 de enero del 2025

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	4000	4000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	3992.32	3992.32
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.19	0.19
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.19	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4870	4870
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	2.7	2.7
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	2.67	



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo 11 de enero del 2025

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P	(g)	954.5	954.5
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasc	(g)	638.21	638.21
3.- Peso del Agua	(g)	316.29	316.29
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasc	(g)	635.58	635.58
5.- Peso del Frasco	(g)	138.21	138.21
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.707
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.722
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.747
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.53

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2783	2392
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2809	2410
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del cai	(g)	2600	2370
4.- Peso de la canastilla	(g)	900	900
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1700	1470

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.526
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.547
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.581
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.85





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 10 de enero del 2025

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Cantera Tres Tomas
Muestra : Agregado grueso


% de desgaste por abrasión	%	19.3
% de uniformidad	%	0.5

Requerimientr : 40 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500




 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

MUESTRA ADICIÓN 1.00%

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
	#	1	2	3	Prom.	5	6	7	Prom.
- Número de briqueta									
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
t Espesor	cm	6.08	6.29	6.07		6.04	6.13	5.97	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1063.7	1069.0	1130.3	1087.7	1005.5	1087.6	1050.9	1048.0
B SSD de la Muestra	gr	1069.10	1073.90	1136.60		1011.10	1093.30	1057.30	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	626.36	623.09	654.36		588.87	627.11	627.83	
E Volumen (B - C)	cc	440.7	450.8	482.2		422.2	466.2	435.5	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.413	2.371	2.344	2.4	2.381	2.333	2.413	2.4
G Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.547	2.547	2.547	2.5	2.547	2.547	2.547	2.5
H % de vacíos ((G - F)/G)*100	%	5.23	6.89	7.96	6.7	6.49	8.39	5.24	6.7
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	23.06	31.05	38.41		27.40	39.13	22.82	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C										
B'	SSD de la Muestra	gr	1076.10	1086.60	1147.90					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	565.00	581.00	585.00					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	511.1	505.6	562.9					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	12.4	17.6	17.6					
-	Saturación (100*J'/I)	%	53.8	56.7	45.8					
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	15.96	12.15	16.73					

NO SE BECUTA

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9					
B''	SSD de la Muestra	gr	1078.30	1084.80	1145.70					
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	622.00	620.00	552.00					
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	456.3	464.8	593.7					
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	14.6	15.8	15.4					
-	Saturación (100*J''/I)	%	63.3	50.9	40.1					
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	3.04	2.77	19.80					
-	Carga Máxima Kg	kg	305	315	325		346	354.0	345	
-	Carga Máxima N	N	2992.050	3090.150	3188.250	3090.150	3394.260	3472.740	3384.450	3417.2
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.94	2.90	2.95	2.93	3.59	3.62	3.62	3.61

NO SE BECUTA

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 81.209%

NOTA:
 El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

MUESTRA ADICIÓN 0%

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS				
	#	1	2	3	Prom.	5	6	7	Prom.	
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07		6.04	6.13	5.97	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1133.2	1130.3	1101.7	1121.7	1084.6	1139.8	1077.9	1100.8
B	SSD de la Muestra	gr	1137.00	1135.00	1105.00		1090.00	1145.00	1085.00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	693.09	654.36		588.87	677.11	621.83	
E	Volumen (B - C)	cc	458.6	441.9	450.6		501.1	467.9	463.2	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.471	2.558	2.445	2.5	2.164	2.436	2.327	2.3
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.726	2.726	2.726	2.7	2.726	2.726	2.726	2.7
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	9.37	6.18	10.33	8.6	20.61	10.65	14.64	15.3
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	42.98	27.32	46.54		103.30	49.81	67.80	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C

B'	SSD de la Muestra	gr	1150.40	1170.70	1109.80					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	585.00	652.00	575.00					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	565.4	518.7	534.8					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	17.2	40.4	8.1					
	Saturación (100*J'/I)	%	40.0	147.9	17.4					
	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	23.28	17.38	18.68					

NO SE EJECUTA

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María

e"	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9					
B"	SSD de la Muestra	gr	1163.90	1166.50	1141.80					
C"	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00					
E"	Volumen (B" - C")	cc	485.9	546.5	509.8					
J"	Volumen de Agua de Absorción (B" - A)	cc	30.7	36.2	40.1					
	Saturación (100*J"/I)	%	71.4	132.5	86.2					
	Hinchamiento (E" - E)*100/E	%	4.82	20.16	11.06					
	Carga Máxima Kg	kg	295	285	325		320	320.0	375	
	Carga Máxima N	N	2893.950	2795.850	3188.250	2959.350	3139.200	3139.200	3678.750	3319.1
	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.84	2.63	2.95	2.81	3.32	3.27	3.94	3.51

NO SE EJECUTA


RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 80.000%

NOTA:

El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



Henry Rivadeneyra Obittas
Tec. Laboratorio USAT






UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS




**GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041**

MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.7%
1.- PESO DEL FRASCO	439
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	1326
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	959
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	1959.2
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1000
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	367
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.7263




 Henry Rivadeneira Obittas
 Tec. Laboratorio
 USAT



Adicion	Optimo Contenido C.A
0	4.8
0.5	4.8
1	5
1.5	4.5
2	4.5



Adicion	Peso Unitario (gr/cm2)
0	2.63
0.5	2.389
1	2.268
1.5	2.399
2	2.381



Adicion	Vacios (%)
0	4.9
0.5	5.2
1	5.8
1.5	4.2
2	5.4



Adicion	Vacios del Agregado mineral (%)
0	9.10
0.5	14.20
1	12.30
1.5	15.40
2	16.20



Adicion	Vacios Llenados de C.A (%)
0	45.00
0.5	64.00
1	51.80
1.5	70.00
2	70.00



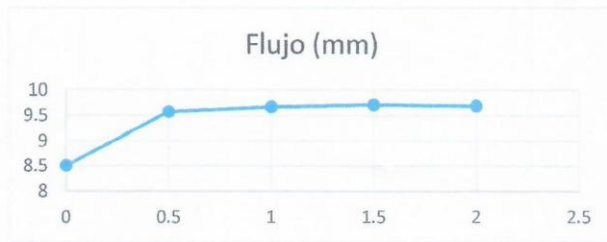
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENLACE DE ASFALTO
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Domingo de Magallanes

Adicion	Flujo (mm)
0	8.51
0.5	9.58
1	9.68
1.5	9.72
2	9.7



Adicion	Estabilidad (Kg)
0	4510
0.5	3120
1	4120
1.5	4560
2	4940



Adicion	Relación Polvo Asfalto
0	1
0.5	0.99
1	1.03
1.5	0.93
2	0.93





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
 MTC E 515

TESIS	: "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL	: Mezcla Asfáltica
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
	: Pátapo - La Victoria
TESISTA	: Saavedra Torres Oscar Miguel

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

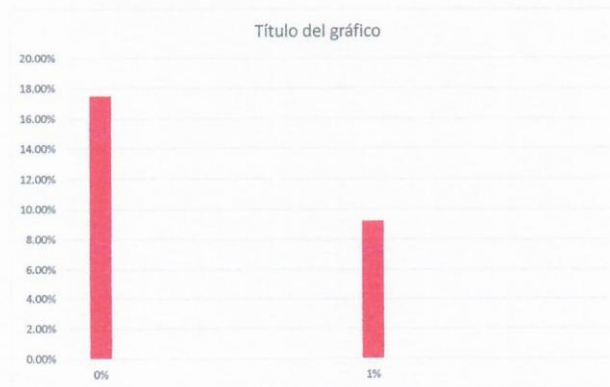
DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
(Filler)	1%
Porcentaje del Nopal con Respecto al peso del Filler	1%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS

N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1199.87	978.04	18.49%	17.50%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1223.67	1045.03	14.60%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1152.23	961.42	16.56%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1173.05	934.35	20.35%	
1	ADICIÓN	1%	300	60°C	1162.17	1047.74	9.85%	9.20%
2	ADICIÓN		300	60°C	1252.67	1104.44	11.83%	
3	ADICIÓN		300	60°C	1117.49	1046.97	6.31%	
4	ADICIÓN		300	60°C	1145.90	1045	8.81%	



NOTA:
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
 MTC E 515

TESIS	:"Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL	:Mezcla Asfáltica
CANTERA	:Tres Tomas - Ferreñafe :Pátapo - La Victoria
TESISTA	:Saavedra Torres Oscar Miguel

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN: 60/70	

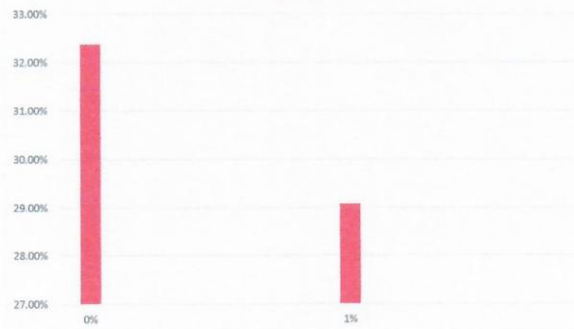
DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
(Filler)	1%
Porcentaje del Nopal con respecto al peso del Filler	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN: 60/70	

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS

N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	60° C	1093.50	741.4	32.20%	32.37%
2	CONVENCIONAL		300	60° C	1158.47	727.3	37.22%	
3	CONVENCIONAL		300	60° C	1079.58	792.26	26.61%	
4	CONVENCIONAL		300	60° C	1121.16	746.3	33.44%	
1	ADICIÓN	1%	300	60° C	1145.60	824.5	28.03%	29.07%
2	ADICIÓN		300	60° C	1089.50	745.8	31.55%	
3	ADICIÓN		300	60° C	1136.50	812.5	28.51%	
4	ADICIÓN		300	60° C	1205.80	865.8	28.20%	

Título del gráfico



NOTA:
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%



TÉCNICO DE LABORATORIO





**GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041**

MEZCLA SIN ADICIÓN PESADO	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.7%
1.- PESO DEL FRASCO	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2613
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2024
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3524.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	589
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.5467




Henry
Rivadencya
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 01 de 02)

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel
 ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
 TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 Ubicación : CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de ensayo : Chiclayo, 20 de enero del 2025

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas
 Muestra : Piedra chancada

I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	0.0
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	0.1
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	0.1
9.5 mm	4.75 mm	



II.- RESULTADO :

DESGASTE TOTAL	(%)	0.2
----------------	-----	-----

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



(Pág. 02 de 02)

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel
 ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
 TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 Ubicación : CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de ensayo : Chiclayo, 20 de enero del 2025

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO EN PARTÍCULAS QUE EXHIBEN FALLA

Cantera : Tres Tomas
 Muestra : Piedra chancada

Tamices		Rajadas		Desmoronadas		fracturadas		Astilladas		N° total de partículas antes del ensayo
pasa	retiene	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2"	2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
2"	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
1 1/2"	3/4"	0	0	5	25	0	0	0	0	20

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
 Escuela : Facultad de Ingeniería Civil
 Obra / Proyecto : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 Ubicación : Chiclayo-Chiclayo-Lambayeque
 Fecha de Emisión : Chiclayo 08 de septiembre del 2025
 ENSAYO : Ensayo de Recuperación Elástica de las Mezclas Asfálticas
 NORMA DE REFERENCIA : ASTM D6084



Henry
 Guadalupe
 Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES - Chiclayo

Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
 Escuela : Facultad de Ingeniería Civil
 Obra / Proyecto : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 Ubicación : Chiclayo-Chiclayo-Lambayeque
 Fecha de Emisión : Chiclayo 08 de septiembre del 2025

ENSAYO : Formato interno de ensayo
 : Ensayo de Recuperación Elástica de las Mezclas Asfálticas

NORMA DE REFERENCIA : ASTM D6084

CALICATA : C - 5 MUESTRA : M - 2 PROFUNDIDAD : 1.50 m.

Diámetro 4 Masa de la Muestra: 221.1
 Área 12.57 Densidad Humedad 2.172
 Altura 8.1 Densidad Seca 1.975
 Volume 102

%w : 10.00

Tiempo	Δh		Deformación (cm)	Lectura Carga (Kgf)	Deformación Unitaria ϵ	Factor de Corrección (1- ϵ)	Área corregida (cm ²)	Esfuerzo Desviado (Kg/cm ²)	Deformación (%)
	(in)	(cm)							
0	0.000	0.000	8.10	0	0.000	1.000	12.57	0.000	0.000
1'	0.110	0.2794	7.82	1.7	0.034	0.966	13.02	0.131	3.449
2'	0.150	0.3810	7.72	2.6	0.047	0.953	13.19	0.197	4.704
2' 30"	0.189	0.4801	7.62	3.7	0.059	0.941	13.36	0.277	5.927
3'	0.239	0.6071	7.49	5.4	0.075	0.925	13.58	0.398	7.495
3' 30"	0.269	0.6833	7.42	7	0.084	0.916	13.72	0.510	8.435
4'	0.32	0.8128	7.29	7.3	0.100	0.900	13.97	0.523	10.035
4' 30"	0.368	0.9347	7.17	6.7	0.115	0.885	14.21	0.472	11.540
5'	0.398	1.0109	7.09	4.5	0.125	0.875	14.36	0.313	12.480
5' 30"	0.428	1.0871	7.01	2.7	0.134	0.866	14.51	0.186	13.421
6'	0.468	1.1887	6.91	1.8	0.147	0.853	14.73	0.122	14.676
6' 30"	0.497	1.2624	6.84	1.3	0.156	0.844	14.89	0.087	15.585
7'	0.547	1.3894	6.71	0.5	0.172	0.828	15.17	0.033	17.153

Resistencia al Corte 0.523
 0.261





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Saavedra Torres Oscar Miguel
 Escuela : Facultad de Ingeniería Civil
 Obra / Proyecto : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 Ubicación : Chiclayo-Chiclayo-Lambayeque
 Fecha de Emisión : Chiclayo 08 de septiembre del 2025
 ENSAYO : Ensayo de Recuperación Elástica de las Mezclas Asfálticas
 NORMA DE REFERENCIA : ASTM D6084



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopa"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

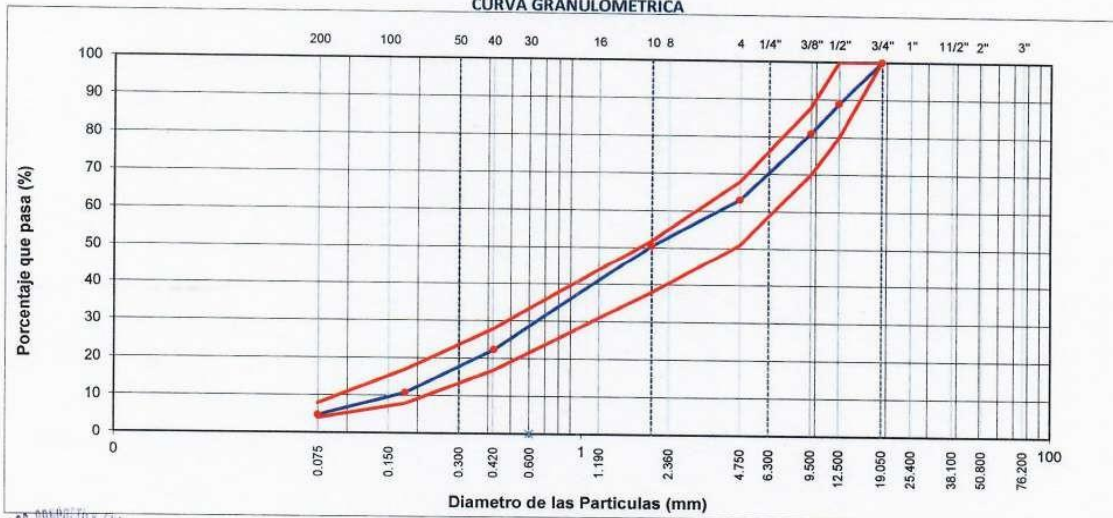
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
Vidrio Molido	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80	
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70	
Nº 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51	
Nº 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38	
Nº 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17	
Nº 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8	
Nº 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4	
< Nº 200	FONDO	86.9	4.8	100.0		8	Observación:

CURVA GRANULOMETRICA



TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	641.25
Arena	783.8
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	60

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.39
B Arena	62.14	54.85
C Filler	1	9.76

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	Descripción	Unidad	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta	#	1	2	3	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.39	35.39	35.39	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.85	54.85	54.85	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.80	4.80	4.80	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.39	6.45	6.54	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1193.8	1263.24	1252.5	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1208.62	1276.54	1267.2	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	754.0	765.91	786	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	454.7	510.63	481.23	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.626	2.474	2.603	2.567
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.693	2.693	2.693	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 \cdot 2 / (7+8)) + (4 \cdot 2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.627	2.627	2.627	
20	% de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.51	8.15	3.37	4.68
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 \cdot 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.782	2.782	2.782	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 \cdot 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.820	2.820	2.820	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P \cdot 8) + (4 \cdot P \cdot 10))$	gr/cc.	2.861	2.861	2.861	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.01	1.01	1.01	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) \cdot 17/21$	%	89.69	84.50	88.90	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	7.79	7.34	7.73	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	10.31	15.50	11.10	12.30
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3+4)$	%	3.09	3.09	3.09	
29	Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	75.61	47.39	69.61	64.20
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3086	3145	3206	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.00	0.81	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3086	3145	3206	3146
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	30	30	30	30
34	Fluencia	m.m.	7.62	7.62	7.62	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4050	4127	4207	4128

LABORATORIO DE GEOTECNIA



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	637.875
Arena	779.6
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	67.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.20
B Arena	62.14	57.43
C Filler	1	7.36

Mezcla	Especificaciones	IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.20	35.20	35.20	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	57.43	57.43	57.43	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.91	1.91	1.91	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	6.51	6.34	6.48	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1293.59	1231.58	1281.01	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1304.63	1248.24	1294.5	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	802.0	770	781.0	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	502.63	478.24	513.5	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.574	2.575	2.494	2.548
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.719	2.719	2.719	
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	gr/cc.	2.536	2.536	2.536	
20 % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.36	5.30	8.27	6.31
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.920	2.920	2.920	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	2.88	2.88	2.88	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	90.17	90.23	87.40	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	4.47	4.47	4.33	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	9.83	9.77	12.60	10.74
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	1.83	1.83	1.83	
29 Relación betún/vacíos (26/27)*100	%	45.50	45.78	34.39	41.89
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3135	3455	3506	
31 Factor de estabilidad		1.04	1.14	1.00	
32 Estabilidad corregida/ 31*32	kg	3260	3939	3506	3568
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	34	33	33	33
34 Fluencia	m.m.	8.64	8.38	8.38	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3775	4699	4183	4219

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obilias
Tec. LABORATORIO USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.02
B Arena	62.14	57.13
C Filler	1	7.85

Mezcla	Especificaciones IVB
--------	----------------------

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.02	35.02	35.02	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	57.13	57.13	57.13	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.90	1.90	1.90	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.24	6.34	6.43	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1105.62	1230.14	1237.91	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1117.64	1245.62	1249.70	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	705.3	771.96	769.31	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	412.34	473.66	480.4	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.681	2.597	2.577	2.618
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.757	2.757	2.757	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516	
20	% de vacíos con aire $100 * (1-17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.73	5.79	6.52	5.01
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.996	2.996	2.996	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	3.77	3.77	3.77	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4)*17/21$	%	93.45	90.52	89.81	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	%	3.82	3.70	3.67	
27	% vacíos del agregado mineral $100-25$	%	6.55	9.48	10.19	8.74
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	1.53	1.53	1.53	
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	%	58.28	38.98	36.00	44.42
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2909	4466	4312	
31	Factor de estabilidad		1.20	1.14	1.14	
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg	3491	5091	4916	4499
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	34	28	29	30
34	Fluencia	m.m.	8.64	7.11	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4042	7159	6673	5958

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	631.125
Arena	771.4
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	82.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.83
B Arena	62.14	56.83
C Filler	1	8.33

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#80	N#200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.5	5.5	5.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	34.83	34.83	34.83
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	56.83	56.83	56.83
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	1.89	1.89	1.89
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.57	6.42	6.49
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1414.06	1303.67	1309.2
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1427.63	1318.35	1321.83
15	Peso de la briqueta en el agua	gr. 883.48	821.62	822.00
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 544.15	496.73	499.8
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.599	2.625	2.619
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.757	2.757	2.757
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc. 2.497	2.497	2.497
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 5.73	4.79	4.98
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.699	2.699	2.699
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.735	2.735	2.735
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc. 3.028	3.028	3.028
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 4.12	4.12	4.12
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4)*17/21$	% 90.09	90.99	90.81
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	% 4.18	4.22	4.21
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 9.91	9.01	9.19
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	% 1.72	1.72	1.72
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	% 42.17	46.83	45.82
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 3962	3832	3820
31	Factor de estabilidad	0.93	1.04	1.04
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg 3685	3985	3973
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul. 30	33	33
34	Fluencia	m.m. 7.62	8.38	8.38
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 4856	4755	4740

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfaltica	1500	

Piedra	627.75
Arena	767.3
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	90

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.65
B Arena	62.14	56.53
C Filler	1	8.82

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	34.65	34.65	34.65
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	56.53	56.53	56.53
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	1.88	1.88	1.88
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	0.00	0.00
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.5	6.9	6.7
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1109.85	1239.48	1317.87
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1121.52	1252.41	1330.26
15	Peso de la briqueta en el agua	gr. 697.30	781.19	822.94
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 424.22	471.22	507.3
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.616	2.630	2.598
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.785	2.785	2.785
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc. 2.478	2.478	2.478
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 6.05	5.54	6.72
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.699	2.699	2.699
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.735	2.735	2.735
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc. 3.097	3.097	3.097
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 4.88	4.88	4.88
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	% 90.22	90.71	89.58
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	% 3.73	3.75	3.70
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 9.78	9.29	10.42
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	% 1.55	1.55	1.55
29	Relación betún/vacíos $(26/27) * 100$	% 38.12	40.34	35.53
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 2920	3092	3116
31	Factor de estabilidad	1.23	1.14	1.04
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg 3592	3525	3241
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul. 35	39	38
34	Fluencia	m.m. 8.89	9.91	9.65
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 4040	3558	3652

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obilias
 Tes. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2043	2084	2076	2109	2068
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3449.0	3392.0	3424.0	3366.0	3452.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1406	1308	1348	1257	1384
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	522	481	489	456	497
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.693	2.719	2.757	2.757	2.785



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry
Eva Deneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



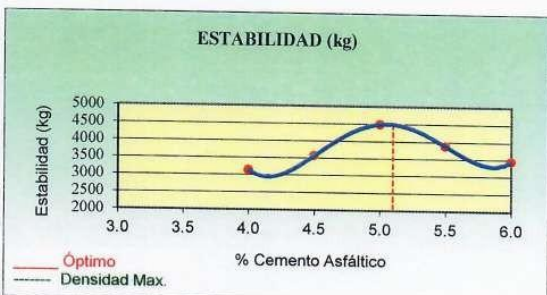
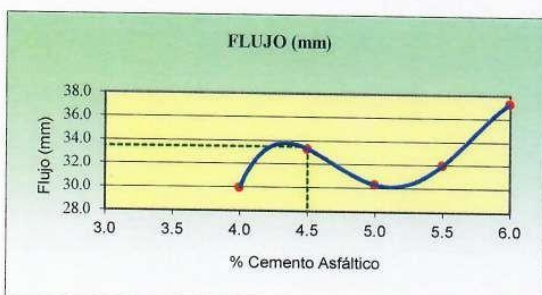


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.630
Vacios (%)	4.90
Vacios del Agregado mineral (%)	9.10
Vacios Llenados de C.A (%)	45.00
Flujo (mm)	8.51
Estabilidad (Kg)	4510
Relación Polvo Asfalto	1.00

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT Universidad Católica



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la Incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1413	
Peso de C.A	72	4.8%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	635.85
Arena	777.2
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	72

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.02
B Arena	62.14	57.13
C Filler	1	7.85

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	ESpecificaciones IVB
--------	----------------------

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briketa			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	35.02	35.02	35.02
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	57.13	57.13	57.13
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% paso malla #200)	1.90	1.90	1.90
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briketa	cm. 6.57	6.42	6.49
13	Peso de la briketa en el aire	gr. 1414.06	1303.67	1309.2
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr. 1427.63	1318.95	1321.83
15	Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr. 883.48	821.62	822.00
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c. 544.15	496.73	499.8
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.599	2.625	2.619
18	Peso específico teórico máxima (Bica) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.757	2.757	2.757
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7*8)+(4*2/(9*10)))	gr/cc. 2.516	2.516	2.516
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 5.73	4.79	4.98
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.699	2.699	2.699
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.735	2.735	2.735
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 2.996	2.996	2.996
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/((23*21)) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 3.77	3.77	3.77
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	% 90.57	91.47	91.29
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	% 3.70	3.74	3.73
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 9.43	8.53	8.71
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 1.53	1.53	1.53
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 39.25	43.83	42.83
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 3962	3832	3820
31	Factor de estabilidad	kg 3685	3985	3973
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 3685	3985	3973
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil 30	33	32
34	Fluencia	m.m. 7.62	8.38	8.38
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 4836	4755	4740



[Signature]
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
Vidrio Molido	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80 100	
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70 88	
Nº 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51 68	
Nº 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17 28	
Nº 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8 17	
Nº 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4 8	
< Nº 200	FONDO	86.9	4.8	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENRIQUECIMIENTO DE MATERIAS
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	641.25
Arena	783.8
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	60

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.39
B Arena	62.14	50.05
C Filler	1	14.56

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	90 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.39	35.39	35.39	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.05	50.05	50.05	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.60	9.60	9.60	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.544	6.718	6.568	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1150.07	1191.95	1165.0	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1175.41	1211.26	1178.8	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	731.0	758	749	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	444.4	453.26	429.8	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.588	2.630	2.711	2.643
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.796	2.796	2.796	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.755	2.755	2.755	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	7.45	5.95	3.06	5.49
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.934	2.934	2.934	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.974	2.974	2.974	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.984	2.984	2.984	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.58	0.58	0.58	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	83.82	85.18	87.80	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	8.73	8.87	9.14	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.18	14.82	12.20	14.40
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	3.51	3.51	3.51	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	53.94	59.83	74.92	62.90
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3148	2963	1958	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.25	0.81	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3148	2963	1958	2690
33	Leitura del flexímetro $(1.01") / (35 / 0.254)$	pul.	37	35	39	37
34	Fluencia	m.m.	9.40	8.89	9.91	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3350	3333	1977	2886

[Firma manuscrita]
 TÉCNICO DE LABORATORIO

[Firma manuscrita]
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfaltica	1500	

Piedra	637.875
Arena	779.6
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	67.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.20
B Arena	62.14	57.43
C Filler	1	7.36

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	35.20	35.20	35.20
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	57.43	57.43	57.43
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	1.91	1.91	1.91
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	6.802	6.392	5.983
13	Peso de la briqueta en el aire	1204.01	1121.2	1094.55
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1222.5	1141.14	1102.4
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	729.0	689	654.0
16	Volumen de la briqueta 14-15	493.5	452.14	448.4
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.440	2.480	2.441
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.586	2.586	2.586
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	2.536	2.536	2.536
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	5.65	4.11	5.61
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.699	2.699	2.699
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.735	2.735	2.735
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	2.759	2.759	2.759
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.83	0.83	0.83
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	85.48	86.88	85.52
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	8.87	9.01	8.87
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	14.52	13.12	14.48
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	3.73	3.73	3.73
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	61.06	68.70	61.26
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	2965	2222	2939
31	Factor de estabilidad	1.09	1.25	1.25
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	3232	2778	3674
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	33	35	45
34	Fluencia	8.38	8.89	11.43
35	Relación Estabilidad / Fluencia	3856	3124	3214

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.80
B Arena	62.14	56.77
C Filler	1	8.43

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.80	34.80	34.80	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	56.77	56.77	56.77	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.89	1.89	1.89	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.093	6.317	6.555	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1094.34	1135.54	1199.28	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1099.95	1152.35	1204.52	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	655.0	698	727.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	444.95	454.35	477.5	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.459	2.499	2.511	2.490
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.493	2.493	2.493	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	8.88	7.40	6.95	7.74
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.960	2.960	2.960	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	3.35	3.35	3.35	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	85.18	86.56	86.98	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	5.95	6.04	6.07	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.82	13.44	13.02	13.76
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	2.54	2.54	2.54	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	40.11	44.94	46.63	43.89
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4672	5000	5000	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.25	1.14	
32	Estabilidad corregida / $31 * 32$	kg	5840	6250	5700	5930
33	lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	37	20	35	31
34	Fluencia	m.m.	9.40	5.08	8.89	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	6214	12308	6412	8310

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Ribadeneyra Obiitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASHTO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A.	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	631.125
Arena	771.4
Peso del Cemento	15
Peso de C.A.	82.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.80
B Arena	62.14	53.94
C Filler	1	11.26

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.80	34.80	34.80	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	53.94	53.94	53.94	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.72	4.72	4.72	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.691	6.468	6.353	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1189.82	1169.56	1151.0	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1207.81	1183.32	1159.74	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	749.00	729	715.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	458.81	454.32	444.7	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.593	2.574	2.588	2.585
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.713	2.713	2.713	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.560	2.560	2.560	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.41	5.11	4.60	4.71
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.782	2.782	2.782	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.820	2.820	2.820	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.978	2.978	2.978	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	2.41	2.41	2.41	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	87.11	86.47	86.93	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	8.48	8.42	8.47	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	12.89	13.53	13.07	13.17
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	3.46	3.46	3.46	
29	Relación betón vacíos $(26/27) * 100$	%	65.80	62.24	64.77	64.27
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2697	3822	2781	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.25	1.25	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3209	4778	3476	3821
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	40	42	55	46
34	Fluencia	m.m.	10.16	10.67	13.97	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3159	4476	2488	3375

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfaltica	1500	

Piedra	627.75
Arena	767.3
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	90

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.80
B Arena	62.14	54.88
C Filler	1	10.32

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.6	5.6	5.6
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	34.80	34.80	34.80
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	54.88	54.88	54.88
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	3.78	3.78	3.78
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	1.47	0.00	0.00
12	Altura promedio de la briqueta	6.576	6.711	6.737
13	Peso de la briqueta en el aire	1187.61	1195.57	1249.14
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1191.37	1198.69	1250.93
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	717.00	709	745.00
16	Volumen de la briqueta 14-15	474.37	489.69	505.9
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.504	2.441	2.469
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.607	2.607	2.607
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	2.537	2.537	2.537
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	3.96	6.34	5.29
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.754	2.754	2.754
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.791	2.791	2.791
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	2.842	2.842	2.842
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	1.15	1.15	1.15
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	84.96	82.86	83.79
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	11.08	10.80	10.92
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	15.04	17.14	16.21
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	4.57	4.57	4.57
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	73.65	63.00	67.38
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	3392	6511	4282
31	Factor de estabilidad	1.14	1.09	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	3867	7097	4453
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	35	39	38
34	Fluencia	8.89	9.91	9.65
35	Relación Estabilidad / Fluencia	4350	7164	4614

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Téc. Laboratorio USAT





GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D - 2041

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	736	736	736	736	736
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2594	2594	2594	2594	2594
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2172	2181	2172	2176	2126
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3352.0	3249.0	3311.0	3310.0	3346.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1180	1068	1139	1134	1220
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	422	413	422	418	468
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.796	2.586	2.699	2.713	2.607




Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
USAT Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

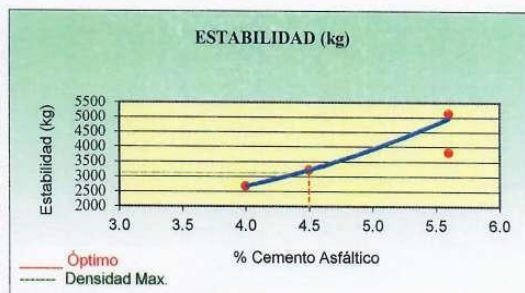
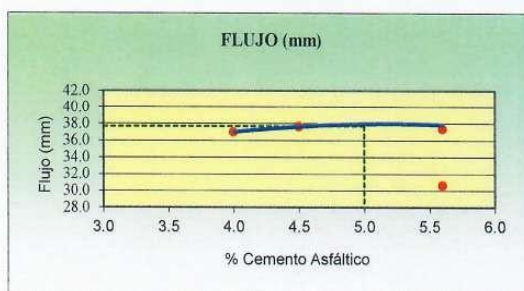
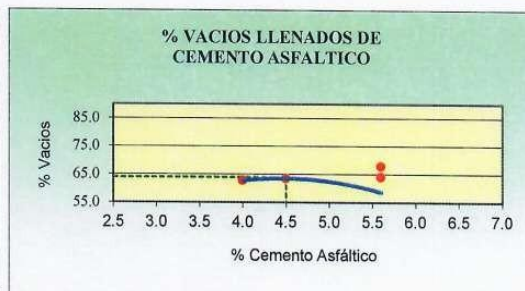
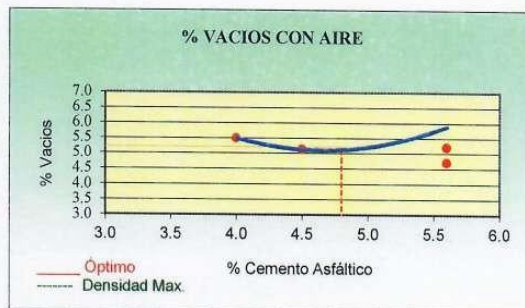


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.389
Vacios (%)	5.20
Vacios del Agregado mineral (%)	14.20
Vacios Llenados de C.A (%)	64.00
Flujo (mm)	9.58
Estabilidad (Kg)	3120
Relación Polvo Asfalto	0.99

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

DATOS DE DISEÑO

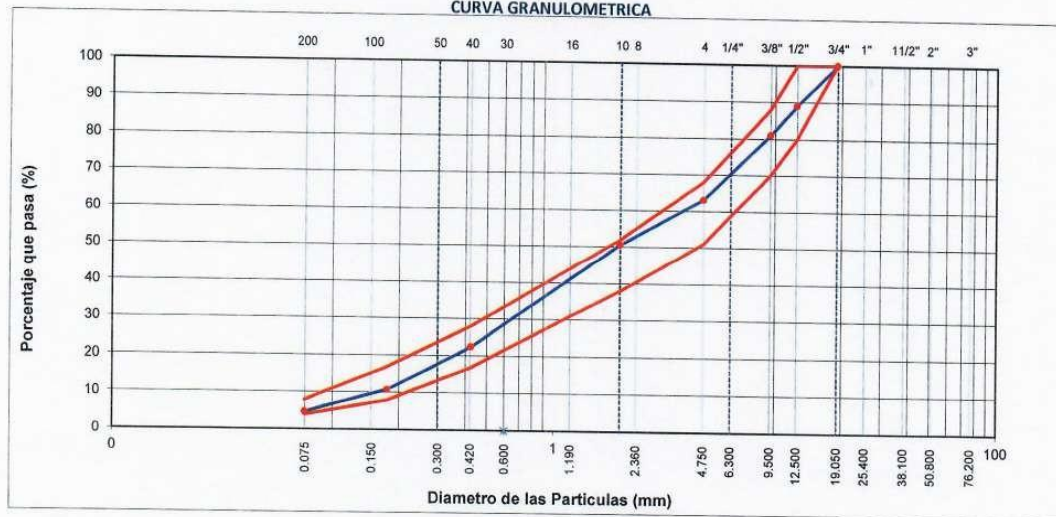
Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
Vidrio Molido	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80	100
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70	88
Nº 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51	68
Nº 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38	52
Nº 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17	28
Nº 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8	17
Nº 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4	8
< Nº 200	FONDO	86.9	4.8	100.0			

Observación:

CURVA GRANULOMETRICA



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE LA UNIVERSIDAD
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASHTO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	641.25
Arena	783.8
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	60

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.39
B Arena	62.14	50.05
C Filler	1	14.56

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

		#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.39	35.39	35.39	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.05	50.05	50.05	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.60	9.60	9.60	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.417	6.271	6.242	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1167.45	1145.44	1135.6	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1174.71	1154.51	1141.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	721.0	709	716	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	453.7	445.51	425.02	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.573	2.571	2.672	2.605
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.788	2.788	2.788	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.755	2.755	2.755	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	7.70	7.77	4.16	6.54
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.934	2.934	2.934	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.974	2.974	2.974	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.974	2.974	2.974	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.46	0.46	0.46	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	83.34	83.28	86.54	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	8.96	8.95	9.30	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.66	16.72	13.46	15.61
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	3.60	3.60	3.60	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	53.76	53.51	69.09	58.79
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3657	3976	3232	
31	Factor de Estabilidad		1.25	1.25	0.81	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3657	3976	3232	3622
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	38	33	29	33
34	Fluencia	m.m.	9.65	8.38	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3789	4743	4388	4307

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivasneynra
Ojitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	637.875
Arena	779.6
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	67.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.20
B Arena	62.14	58.39
C Filler	1	6.41

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.20	35.20	35.20	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	58.39	58.39	58.39	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	5.98	6.361	6.112	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1068.15	1119.02	1105.42	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1087.19	1123.94	1116.5	
15 Peso de la briqueta en el agua	gr.	639.0	670	668.0	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	448.19	453.94	448.5	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.383	2.465	2.465	2.438
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.610	2.610	2.610	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/(7+8)) + (4^2/(9+10)))$	gr/cc.	2.513	2.513	2.513	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	8.69	5.55	5.56	6.60
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.672	2.672	2.672	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.708	2.708	2.708	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.788	2.788	2.788	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.59	1.59	1.59	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	84.34	87.24	87.22	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	6.97	7.21	7.21	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.66	12.76	12.78	13.73
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	3.01	3.01	3.01	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	44.52	56.50	56.45	52.49
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2837	2893	2692	
31 Factor de estabilidad		1.25	1.25	1.25	
32 Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3546	3616	3365	3509
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	41	40	32	38
34 Fluencia	m.m.	10.41	10.16	8.13	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3405	3559	4140	3702

LABORATORIO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivas Obittas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.02
B Arena	62.14	58.08
C Filler	1	6.90

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.02	35.02	35.02	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	58.08	58.08	58.08	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.732	6.474	6.595	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1207.77	1165.53	1156.61	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1218.71	1169.93	1161.15	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	681.0	656	646.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	537.71	513.93	515.2	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.246	2.268	2.245	2.253
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.472	2.472	2.472	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.494	2.494	2.494	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	9.13	8.25	9.17	8.85
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.672	2.672	2.672	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.708	2.708	2.708	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.644	2.644	2.644	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-0.40	-0.40	-0.40	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	79.07	79.84	79.04	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	11.80	11.91	11.80	
27	% vacíos del agregado mineral $100 - 25$	%	20.93	20.16	20.96	20.69
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.37	5.37	5.37	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	56.38	59.08	56.27	57.24
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3575	3992	3745	
31	Factor de estabilidad		0.93	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3325	3992	3745	3687
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	38	37	37	37
34	Fluencia	m.m.	9.65	9.40	9.40	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3945	4248	3985	3892

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	631.125
Arena	771.4
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	82.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.83
B Arena	62.14	54.00
C Filler	1	11.17

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.83	34.83	34.83	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.00	54.00	54.00	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.73	4.73	4.73	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.686	6.136	6.51	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1213.7	1121.34	1195.9	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1219.11	1126.34	1200.68	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	719.00	660	687.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	500.11	466.34	513.7	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.427	2.405	2.328	2.386
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.606	2.606	2.606	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.87	7.73	10.66	8.42
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.782	2.782	2.782	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.820	2.820	2.820	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.835	2.835	2.835	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.69	0.69	0.69	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	81.60	80.85	78.28	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	11.52	11.42	11.05	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.40	19.15	21.72	19.75
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.89	4.89	4.89	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	62.64	59.63	50.90	57.72
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3383	3556	4398	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.19	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3518	4232	4398	4049
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	37	44	31	37
34	Fluencia	m.m.	9.40	11.18	7.87	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	374	3786	5585	4372

LABORATORIO

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	627.75
Arena	767.3
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	90

	Materia	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	36.86	34.65
B	Arena	62.14	54.65
C	Filler	1	10.70

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.65	34.65	34.65	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.65	54.65	54.65	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	3.76	3.76	3.76	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	0.00	0.00	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.882	6.881	6.7	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1239.18	1258.29	1221.74	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1243.14	1260.88	1227.26	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	724.00	742	716.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	519.14	518.88	511.3	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.387	2.425	2.390	2.401
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.585	2.585	2.585	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.522	2.522	2.522	
20	% de vacíos con aire $100 * (1-17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	7.67	6.20	7.57	7.15
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.754	2.754	2.754	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.791	2.791	2.791	
23	Peso específico efectiva del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.836	2.836	2.836	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.08	1.08	1.08	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4)*17/21$	%	80.66	81.95	80.75	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	%	11.66	11.85	11.67	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.34	18.05	19.25	18.88
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	5.04	5.04	5.04	
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	%	60.31	65.63	60.66	62.20
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3597	4339	3826	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg	3597	4339	3826	3921
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	37	40	39	39
34	Fluencia	m.m.	9.40	10.16	9.91	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3827	4274	3862	3987



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	736	736	736	736	736
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2122	2147	2086	2164	2085
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3357.0	3238.0	3270.0	3209.0	3326.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1235	1091	1184	1045	1241
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	443	418	479	401	480
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.788	2.610	2.472	2.606	2.585



Henry Rivedeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

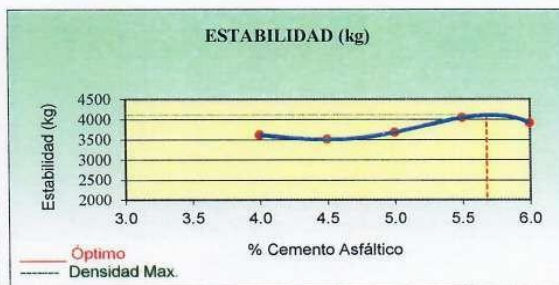
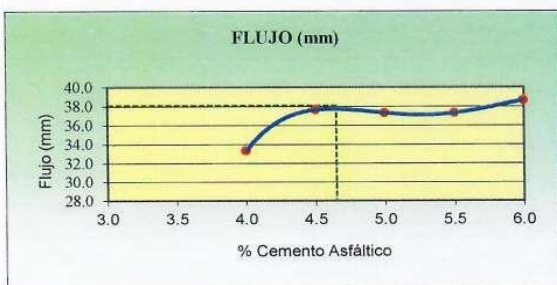


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.0
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.268
Vacios (%)	5.80
Vacios del Agregado mineral (%)	12.30
Vacios Llenados de C.A (%)	51.80
Flujo (mm)	9.68
Estabilidad (Kg)	4120
Relación Polvo Asfalto	1.03

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.65
B Arena	62.14	54.65
C Filler	1	10.70

% Que Pasa el Tamiz									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#80	N#200	
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8		
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8		

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	34.65	34.65	34.65
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	54.65	54.65	54.65
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	3.76	3.76	3.76
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	0.00	0.00
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.882	6.881	6.7
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1239.18	1258.29	1221.74
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1243.14	1260.88	1227.26
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 724.00	742	716.00
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 519.14	518.88	511.3
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.387	2.425	2.390
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.585	2.585	2.585
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc. 2.522	2.522	2.522
20	% de vacíos con aire $100 * (1-17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 7.67	6.20	7.57
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.754	2.754	2.754
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.791	2.791	2.791
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc. 2.836	2.836	2.836
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 1.08	1.08	1.08
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4)*17/21$	% 80.66	81.95	80.75
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	% 11.66	11.85	11.67
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 19.34	18.05	19.25
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	% 5.04	5.04	5.04
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	% 60.31	65.63	60.66
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 3597	4339	3826
31	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg 3597	4339	3826
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 37	40	39
34	Fluencia	m.m. 9.40	10.15	9.91
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3827	4271	3862



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

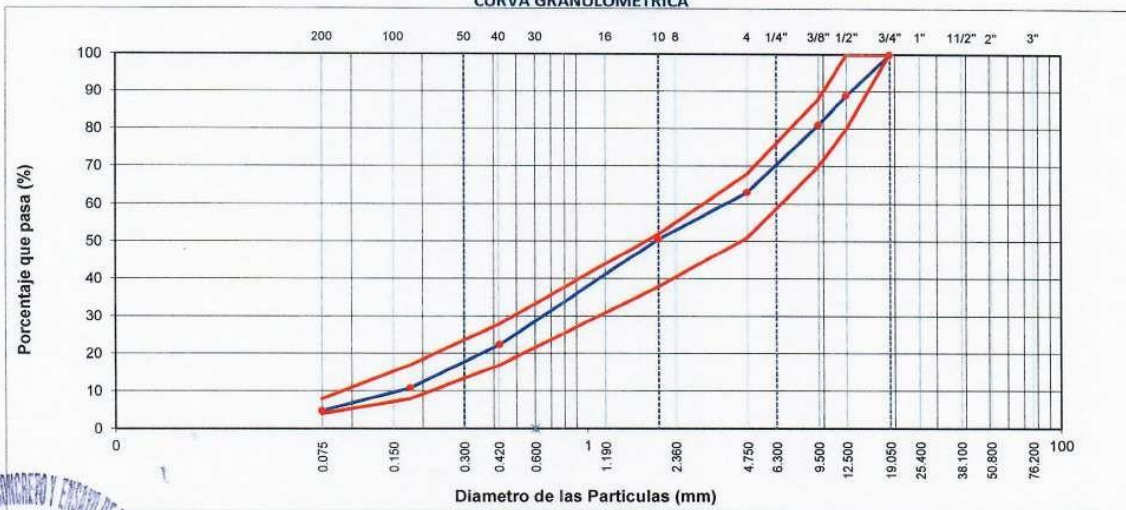
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
Vidrio Molido	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80 100	
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70 88	
Nº 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51 68	
Nº 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17 28	
Nº 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8 17	
Nº 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4 8	
< Nº 200	FONDO	86.9	4.8	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.39
B Arena	62.14	50.05
C Filler	1	14.56

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	641.25
Arena	783.8
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	60

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.39	35.39	35.39	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.05	50.05	50.05	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.60	9.60	9.60	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.648	6.674	6.188	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1191.83	1216.2	1060.2	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1220.62	1198.61	1076.8	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	762.0	747	678	
16	Volumen de la briqueta	c.c.	458.6	451.61	398.81	
17	Peso unitario de la briqueta	gr/cc.	2.599	2.693	2.658	2.650
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.804	2.804	2.804	
19	Máxima densidad teórica de los agregados	gr/cc.	2.755	2.755	2.755	
20	% de vacíos con aire	%	7.33	3.97	5.20	5.50
21	Peso específico Bulk del Agregado Total	gr/cc.	2.934	2.934	2.934	
22	Peso específico Aparente del agregado total	gr/cc.	2.974	2.974	2.974	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gr/cc.	2.993	2.993	2.993	
24	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.69	0.69	0.69	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta	%	84.17	87.23	86.10	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta	%	8.50	8.80	8.69	
27	% vacíos del agregado mineral	%	15.83	12.77	13.90	14.16
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla	%	3.41	3.41	3.41	
29	Relación betún vacíos	%	53.68	68.94	62.55	61.72
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4225	4422	2629	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.25	0.81	
32	Estabilidad corregida	kg	4225	4422	2629	3759
33	Lectura del flexímetro	pul.	41	38	33	37
34	Fluencia	m.m.	10.41	9.65	8.38	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	405.7	458.1	3136	3925

TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	637.875
Arena	779.6
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	67.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.20
B Arena	62.14	57.43
C Filler	1	7.36

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	IVB
Especificaciones	IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.20	35.20	35.20	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	57.43	57.43	57.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.91	1.91	1.91	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.691	6.189	7.181	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1217.59	1116.07	1251.10	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1229.92	1120.19	1260.7	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	728.0	657	750.0	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	501.92	463.19	510.7	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.426	2.410	2.450	2.428
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.542	2.542	2.542	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2 / (7+8)) + (4*2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.536	2.536	2.536	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.57	5.21	3.62	4.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.706	2.706	2.706	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.11	0.11	0.11	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	84.99	84.42	85.84	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	10.44	10.36	10.54	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.01	15.58	14.16	14.92
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.40	4.40	4.40	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	69.53	66.53	74.41	70.16
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3760	4520	4132	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.19	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3910	5379	4132	4474
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	41	37	34	37
34	Fluencia	m.m.	10.41	9.40	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3755	5723	4785	4754

LABORATORIO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.02
B Arena	62.14	57.13
C Filler	1	7.85

Mezcla	
Especificaciones IVB	

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.02	35.02	35.02	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	57.13	57.13	57.13	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.90	1.90	1.90	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.672	6.666	6.274	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1199.33	1181.94	1144.45	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1208.56	1193	1152.57	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	715.0	701	689.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	493.56	492	463.6	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.430	2.402	2.469	2.434
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.576	2.576	2.576	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 * 2 / (7 + 8)) + (4 * 2 / (9 + 10)))$	gr/cc.	2.516	2.516	2.516	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17 / 18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.66	6.74	4.16	5.52
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.771	2.771	2.771	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.00	1.00	1.00	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	84.69	83.73	86.04	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	9.65	9.54	9.80	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.31	16.27	13.96	15.18
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.08	4.08	4.08	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	63.01	58.61	70.22	63.95
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3578	3362	3910	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.09	1.19	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3900	3665	4653	4073
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	38	35	40	37
34	Fluencia	m.m.	9.14	8.89	10.16	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4265	4122	4580	4322

LABORATORIO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obilita
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfaltica	1500	

Piedra	631.125
Arena	771.4
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	82.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.83
B Arena	62.14	54.00
C Filler	1	11.17

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.		
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5,5	5,5	5,5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.83	34.83	34.83	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	54.00	54.00	54.00	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.73	4.73	4.73	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.475	6.376	6.737	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1174.03	1164.9	1236.4	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1181.65	1170.61	1239.73	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	720.00	711	756.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	461.65	459.61	483.7	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.543	2.535	2.556	2.545
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.669	2.669	2.669	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.72	5.04	4.24	4.66
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.782	2.782	2.782	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.820	2.820	2.820	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.915	2.915	2.915	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.68	1.68	1.68	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	85.51	85.22	85.94	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	9.77	9.74	9.82	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.49	14.78	14.06	14.44
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.01	4.01	4.01	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	67.44	65.90	69.85	67.73
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4813	3840	4200	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.19	1.09	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	5727	4570	4578	4958
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	39	42	40	40
34	Fluencia	m.m.	9.91	10.67	10.16	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5782	4283	4506	4857

LABORATORIO

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNICA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	627.75
Arena	767.3
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	90

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.65
B Arena	62.14	54.65
C Filler	1	10.70

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	34.65	34.65	34.65
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	54.65	54.65	54.65
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	3.76	3.76	3.76
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	1.47	0.00	0.00
12	Altura promedio de la briqueta	6.236	6.736	6.267
13	Peso de la briqueta en el aire	1122.62	1217.11	1145.21
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1127.66	1219.92	1149.60
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	679.00	743	697.00
16	Volumen de la briqueta 14-15	448.66	476.92	452.6
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.502	2.552	2.530
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.671	2.671	2.671
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	2.522	2.522	2.522
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	6.31	4.44	5.26
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	2.754	2.754	2.754
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	2.791	2.791	2.791
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	2.947	2.947	2.947
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	2.43	2.43	2.43
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	84.56	86.24	85.51
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	9.13	9.32	9.24
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	15.44	13.76	14.49
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	3.83	3.83	3.83
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	59.14	67.70	63.73
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	3388	3771	3210
31	Factor de estabilidad	1.25	1.14	1.25
32	Estabilidad corregida 31*32	4235	4299	4013
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	36	41	40
34	Fluencia	9.14	10.41	10.16
35	Relación Estabilidad / Fluencia	4631	4128	3949

LABORATORIO DE GEOTECNICA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátao - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2146	2078	2110	2139	2152
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3321.0	3316.0	3282.0	3276.0	3255.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1175	1238	1172	1137	1103
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	419	487	455	426	413
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.804	2.542	2.576	2.669	2.671



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

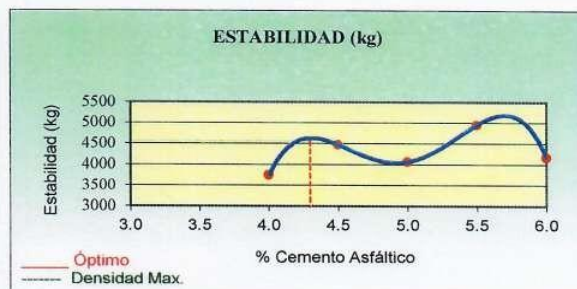
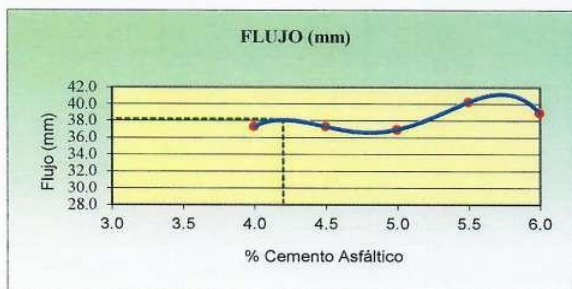
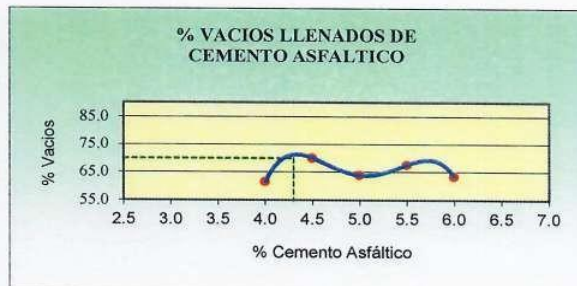
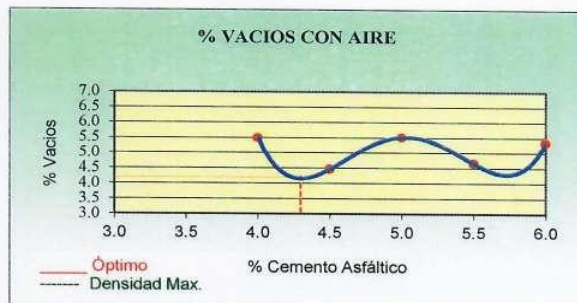


USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.5
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.399
Vacios (%)	4.20
Vacios del Agregado mineral (%)	15.40
Vacios Llenados de C.A (%)	70.00
Flujo (mm)	9.72
Estabilidad (Kg)	4560
Relación Polvo Asfalto	0.93

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica Santa Teresita de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

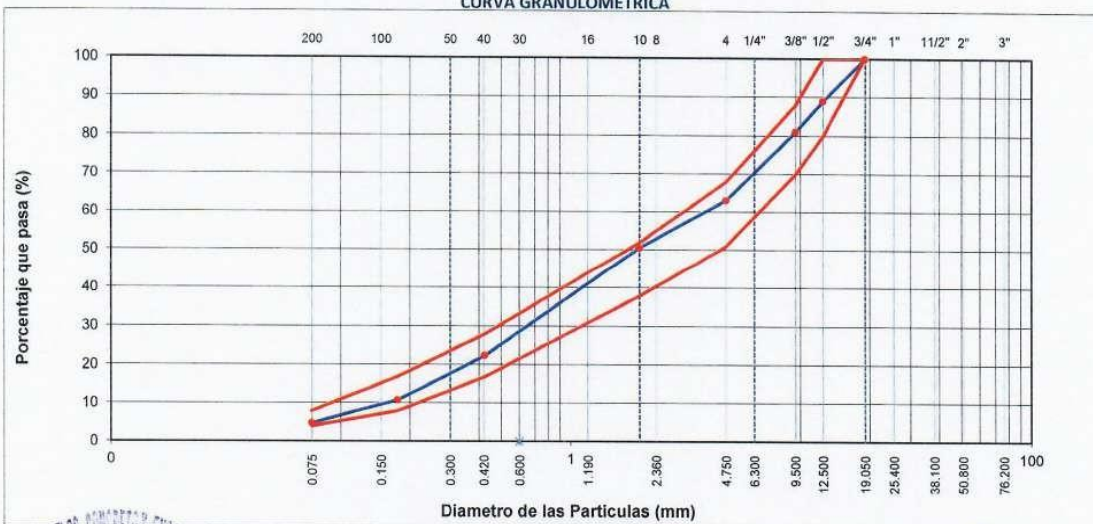
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
Vidrio Molido	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	100	
1/2"	12.500	439	11.0	11.0	89.0	80 100	
3/8"	9.500	319	8.0	18.9	81.1	70 88	
Nº 4	4.750	717	17.9	36.9	63.1	51 68	
Nº 10	2.000	226.2	12.5	49.4	50.6	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	509.1	28.2	77.6	22.4	17 28	
Nº 80	0.177	208.8	11.6	89.1	10.9	8 17	
Nº 200	0.075	109.0	6.0	95.2	4.8	4 8	
< Nº 200	FONDO	86.9	4.8	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y GEOTECNIA
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Iruvareneza Obilitas
 Henry Iruvareneza Obilitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	641.25
Arena	783.8
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	60

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.39
B Arena	62.14	50.05
C Filler	1	14.56

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.39	35.39	35.39	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.05	50.05	50.05	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	9.60	9.60	9.60	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	6.679	6.396	6.82	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1210.82	1119.42	1210.2	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1224.7	1131.95	1224.8	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	740.0	680	734	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	484.7	451.95	490.76	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.498	2.477	2.466	2.480
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.608	2.608	2.608	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2 / (7+8)) + (4*2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.755	2.755	2.755	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.20	5.02	5.43	4.88
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.934	2.934	2.934	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.974	2.974	2.974	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.760	2.760	2.760	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-2.20	-2.20	-2.20	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	80.91	80.23	79.87	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	14.88	14.76	14.69	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.09	19.77	20.13	19.66
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.88	5.88	5.88	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	77.98	74.64	73.00	75.21
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4690	4059	3667	
31 Factor de estabilidad		1.09	1.25	0.81	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	4690	4059	3667	4139
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pu.	39	35	36	37
34 Fluencia	m.m.	9.91	8.89	9.14	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4739	4566	4010	4437

LABORATORIO DE ENSAYOS



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"

MATERIAL : Mezcla Asfáltica

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	637.875
Arena	779.6
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	67.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.20
B Arena	62.14	57.43
C Filler	1	7.36

Mezcla	Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.20	35.20	35.20	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	57.43	57.43	57.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.91	1.91	1.91	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.402	6.73	6.065	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1169.86	1192.91	1111.24	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1176.3	1198.68	1113.7	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	694.0	708	658.0	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	482.3	490.68	455.7	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.426	2.431	2.439	2.432
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.570	2.570	2.570	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.536	2.536	2.536	
20	% de vacíos con aire $100 * (1-17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.64	5.42	5.12	5.39
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.699	2.699	2.699	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.735	2.735	2.735	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.740	2.740	2.740	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.58	0.58	0.58	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	84.98	85.18	85.45	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	%	9.38	9.40	9.43	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.02	14.82	14.55	14.80
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	3.97	3.97	3.97	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	62.46	63.42	64.80	63.56
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4053	4082	4002	
31	Factor de estabilidad		1.14	1.09	1.25	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	4620	4449	5003	4691
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	36	36	38	37
34	Fluencia	m.m.	9.44	9.14	9.65	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5053	4866	5183	5034



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	634.5
Arena	775.5
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	75

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	35.02
B Arena	62.14	57.13
C Filler	1	7.85

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	35.02	35.02	35.02
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	57.13	57.13	57.13
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	1.90	1.90	1.90
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.526	2.526	2.526
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.547	2.547	2.547
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.707	2.707	2.707
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.722	2.722	2.722
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 7.159	6.807	6.91
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1256.65	1184.96	1259.03
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1273.55	1205.8	1268.90
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 750.0	712	751.00
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 523.55	493.8	517.9
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.400	2.400	2.431
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.533	2.533	2.533
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc. 2.516	2.516	2.516
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 5.25	5.28	4.04
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.699	2.699	2.699
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.735	2.735	2.735
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc. 2.719	2.719	2.719
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.29	0.29	0.29
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	% 83.65	83.63	84.73
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	% 11.09	11.09	11.23
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 16.35	16.37	15.27
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	% 4.73	4.73	4.73
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	% 67.86	67.76	73.56
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 3220	5000	2862
31	Factor de estabilidad	0.96	1.09	1.00
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg 3091	5450	2862
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 38	35	42
34	Fluencia	m.m. 9.65	8.89	10.67
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3203	5130	2683

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santa Teresita de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	631.125
Arena	771.4
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	82.5

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	36.86	34.83
B Arena	62.14	54.00
C Filler	1	11.17

Mezcla	Especificaciones IVB
--------	----------------------

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.		
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.83	34.83	34.83	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	54.00	54.00	54.00	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.73	4.73	4.73	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.542	6.862	6.336	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1192.52	1256.97	1145.1	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1198.22	1260.96	1149.07	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	734.00	761	689.00	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	464.22	499.96	460.1	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.569	2.514	2.489	2.524
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.665	2.665	2.665	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.61	5.66	6.61	5.29
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.782	2.782	2.782	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.820	2.820	2.820	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.910	2.910	2.910	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.62	1.62	1.62	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	86.38	84.54	83.69	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	10.01	9.80	9.70	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	13.62	15.46	16.31	15.13
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.06	4.06	4.06	
29	Relación betún/vacíos $(26/27) * 100$	%	73.50	63.37	59.49	65.45
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	4043	3425	3728	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.04	1.19	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	4811	3562	4436	4270
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	41	38	29	36
34	Fluencia	m.m.	10.41	9.65	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4626	3690	6023	4778

LABORATORIO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obilias
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

Grava Chancada 3/4"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Piedra	627.75
Arena	767.3
Peso del Cemento	15
Peso de C.A	90

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	36.86	34.65
B	Arena	62.14	54.65
C	Filler	1	10.70

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#80	N#200	
100	89.0	81.1	63.1	50.6	22.4	10.9	4.8		
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8		

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	34.65	34.65	34.65	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.65	54.65	54.65	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	3.76	3.76	3.76	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.526	2.526	2.526	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.537
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.707	2.707	2.707	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.722	2.722	2.722	2.715
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	0.00	0.00	
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.72	6.9	6.36	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1244.86	1247.25	1165.56	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1249.7	1252.81	1157.60	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	751.00	751	689.00	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	498.7	501.81	468.6	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.496	2.486	2.487	2.490
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.619	2.619	2.619	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.522	2.522	2.522	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.68	5.09	5.02	4.93
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.754	2.754	2.754	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.791	2.791	2.791	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.879	2.879	2.879	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.62	1.62	1.62	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	84.35	83.99	84.05	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25+20)$	%	10.96	10.92	10.92	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.65	16.01	15.95	15.87
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.55	4.55	4.55	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	70.07	68.19	68.50	68.92
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3496	4586	4449	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.19	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	3636	4769	5294	4567
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	34	36	37	36
34	Fluencia	m.m.	8.64	9.14	9.40	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4210	5216	5633	5020

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneiro Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
MATERIAL : Mezcla Asfáltica
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	730	730	730	730	730
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2565	2565	2565	2565	2565
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2147	2104	2070	2141	2098
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3237.0	3289.0	3324.0	3271.0	3321.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1090	1185	1254	1130	1223
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	418	461	495	424	467
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.608	2.570	2.533	2.665	2.619



TÉCNICO DE LABORATORIO



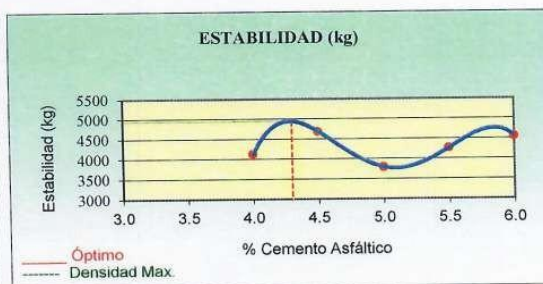
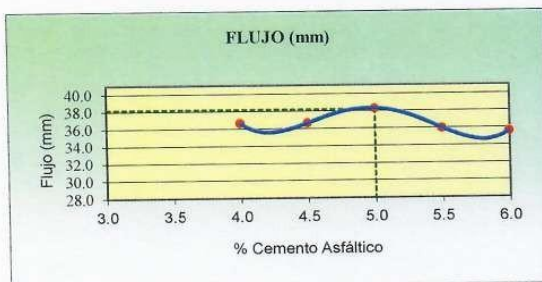
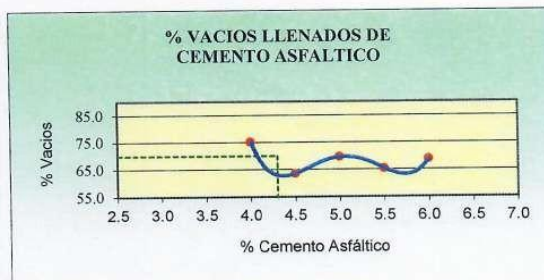
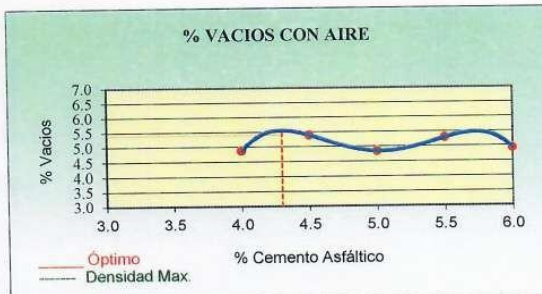


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas para pavimento flexibles con la incorporación de Goma Nopal"
 MATERIAL : Mezcla Asfáltica
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Saavedra Torres Oscar Miguel



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.5
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.381
Vacios (%)	5.40
Vacios del Agregado mineral (%)	16.20
Vacios Llenados de C.A (%)	70.00
Flujo (mm)	37.70
Estabilidad (Kg)	4940
Relación Polvo Asfalto	0.93



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneya Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo





