

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler

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

AUTOR

Susan Mireyli Tarrillo Montenegro

ASESOR

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

Chiclayo, 2025

**Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente
adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del
filler**

PRESENTADA POR

Susan Mireyli Tarrillo Montenegro

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Tepe Atoche Victor Manuel

PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino

SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, Lorenzo y Flor, pilares de mi vida, cuya guía y amor incondicional han sido la luz en mi camino. Este logro es tanto suyo como mío, por cada sacrificio que hicieron y por enseñarme que la perseverancia siempre tiene recompensa.

A mis hermanos, Jhon Kennedy y Jhon Franklin, por su apoyo y ejemplo, que me han impulsado a dar lo mejor de mí. Su confianza ha sido una fuente constante de fortaleza.

A Fernando, por estar siempre cerca, con su apoyo firme y su presencia constante, brindándome la serenidad y el aliento necesarios en este proceso.

Agradecimientos

Dios, por ser mi faro en este viaje, iluminando mi camino y dándome la fortaleza necesaria para enfrentar cada desafío. Su presencia ha sido mi guía en cada paso de esta travesía.

A mis padres, cuyas enseñanzas resuenan en mi corazón. Su amor incondicional ha impulsado mis sueños y cada sacrificio ha sembrado en mí la determinación de no rendirme. Este logro es un reflejo de su fe en mí.

A mi asesor, por ser un pilar de sabiduría y paciencia. Su apoyo ha sido fundamental en cada etapa de este trabajo, permitiéndome crecer académicamente.

INFORME DE TESIS - SEMINARIO DE TESIS II.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	3%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	documentop.com Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	9
Materiales y métodos.....	45
Resultados y discusión.....	83
Conclusiones.....	119
Recomendaciones.....	121
Referencias.....	122
Anexos.....	125

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente al adicionar ceniza de mazorca de maíz como reemplazo parcial del filler. Para ello, se caracterizó químicamente la ceniza, determinando su alto contenido de óxidos de silicio, aluminio y hierro, lo que le otorga propiedades puzolánicas. A través de ensayos Marshall, tracción indirecta y Cántabro, se evaluaron las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de ceniza de mazorca de maíz (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Los resultados indicaron que la adición de un 50% de ceniza es el porcentaje óptimo, mejorando significativamente la estabilidad, el flujo y la resistencia al desgaste. Además, se observó un incremento en la resistencia al daño por humedad, alcanzando un índice TSR de 81.62%, superior al mínimo requerido. Finalmente, el análisis económico mostró que la mezcla modificada es más económica que la convencional, con un ahorro de S/. 6.57 por metro cúbico, lo que evidencia la viabilidad técnica, económica y sostenible del uso de ceniza de mazorca de maíz en mezclas asfálticas para pavimentos sometidos a condiciones de tráfico pesado.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, Ceniza de mazorca de maíz, Comportamiento mecánico, Filler alternativo, Estabilidad estructural, Pavimentos sostenible

Abstract

The present study aims to analyze the mechanical behavior of a hot asphalt mixture by adding corn cob ash as a partial replacement for the filler. To achieve this, the ash was chemically characterized, revealing a high content of silicon, aluminum, and iron oxides, giving it pozzolanic properties. Through Marshall, indirect tensile, and Cantabro tests, the mechanical properties of asphalt mixtures with different percentages of corn cob ash (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) were evaluated. The results indicated that adding 50% ash is the optimal percentage, significantly improving stability, flow, and wear resistance. Additionally, an increase in moisture damage resistance was observed, reaching a TSR index of 81.62%, exceeding the minimum required. Finally, the economic analysis showed that the modified mixture is more cost-effective than the conventional one, with a savings of S/. 6.57 per cubic meter, demonstrating the technical, economic, and sustainable viability of using corn cob ash in asphalt mixtures for pavements subjected to heavy traffic conditions.

Keywords: Asphalt mixture, Corn cob ash, Mechanical behavior, Alternative filler, Structural stability, Sustainable pavements.

Introducción

La construcción de carreteras es esencial para el progreso, crecimiento y la conectividad de una nación. A lo largo de la historia, la calidad de los caminos ha sido determinante para el intercambio comercial y el bienestar de las comunidades. En la era moderna, el pavimento asfáltico juega un papel esencial en la infraestructura vial, impactando directamente en la eficiencia y seguridad del transporte. Sin embargo, en muchas regiones, especialmente en países en desarrollo, mantener y mejorar las carreteras es un desafío constante, limitado por el financiamiento y el acceso a tecnologías avanzadas en construcción [1].

En el caso de Chiclayo, Perú, la expansión de la población y el crecimiento del número de vehículos motorizados no se han visto acompañados de mejoras proporcionales en la infraestructura vial. Esto ha resultado en carreteras en estado deteriorado, incrementando los riesgos de seguridad y afectando negativamente a la economía local. En el ámbito peruano, las condiciones climáticas variantes, caracterizadas por intensas lluvias en la sierra y selva, añaden dificultades adicionales a la durabilidad de estas carreteras. Además, la construcción de estas implica una creciente demanda de recursos, los cuales definitivamente plantean desafíos de sostenibilidad ambiental y costos [2].

Ante este contexto, surge la pregunta clave: ¿Cómo influye la adición de ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial o total del filler en las propiedades mecánicas y resistencia de las mezclas asfálticas en caliente, y cuál es su viabilidad económica para su uso en la construcción de carreteras? La relevancia de esta investigación radica en su potencial para ofrecer soluciones innovadoras y sostenibles, utilizando ceniza de mazorca de maíz, un subproducto agrícola abundante, como alternativa económica y ecológica al filler convencional en pavimentos asfálticos. Este enfoque no solo promete reducir la dependencia de materiales no renovables y gestionar eficientemente los residuos agrícolas, sino también mejorar la resistencia del asfalto, lo cual es crucial en la lucha contra los efectos adversos del clima y el desgaste por uso.

Por tanto, el objetivo general del estudio es determinar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente, adicionando ceniza de mazorca de maíz como remplazo parcial del filler para optimizar la resistencia estructural del pavimento. Para ello, se establecen varios objetivos específicos: Caracterizar la composición química de las cenizas de mazorca de maíz, establecer el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente con ceniza de mazorca de maíz, determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente con la adición de ceniza de mazorca de maíz, a la muestra con el óptimo contenido de asfalto,

determinar el incremento en la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente con el óptimo contenido de asfalto (muestra patrón), adicionando ceniza de mazorca de maíz, a través del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta, evaluar la pérdida por desgaste de la Mezcla Asfáltica en Caliente, considerando la adición de ceniza de mazorca de maíz en proporciones óptimas determinadas previamente por los ensayos de Marshall y Tracción Indirecta, mediante la aplicación de un ensayo mecánico, tanto en muestras patrón como en muestras modificadas y realizar una comparación económica entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada.

La metodología empleada es experimental, con la constitución de dos grupos de prueba: uno de control, utilizando mezcla asfáltica estándar, y otro experimental, integrando proporciones determinadas de ceniza de mazorca de maíz. Se realizarán evaluaciones iniciales y finales de las propiedades mecánicas de ambas mezclas para establecer comparaciones y determinar los beneficios reales de incorporar la ceniza en las mezclas asfálticas.

Este estudio pretende contribuir significativamente al campo de la ingeniería civil proporcionando soluciones prácticas y viables que podrían transformar la construcción y mantenimiento de carreteras en regiones con recursos limitados. Al demostrar que la ceniza de mazorca de maíz puede ser una alternativa viable y beneficiosa, este proyecto ofrece un modelo sostenible para mejorar la infraestructura vial y, en consecuencia, la calidad de vida en comunidades afectadas por infraestructuras viales deficientes.

Revisión de literatura

Antecedentes

En el presente artículo [3] En el artículo mencionado [3], se analiza la viabilidad técnica y ambiental del uso de cenizas volantes, un derivado de la combustión del carbón, como sustituto parcial del relleno de piedra caliza en las composiciones asfálticas. El estudio llevado a cabo por Wozzuk, Bandura y Franus investigó los cambios en las propiedades mecánicas y la durabilidad de las mezclas asfálticas al incorporar cenizas volantes de las clases F y C en proporciones del 25%, 50% y 75%. Los autores evaluaron las cenizas volantes basándose en su morfología, composición químico-mineralógica y granulometría. Posteriormente, se crearon mezclas asfálticas reemplazando el filler de caliza por cenizas volantes, y se realizaron distintos ensayos para medir la densidad aparente y máxima, el porcentaje de vacíos, así como la resistencia a la tracción indirecta y el comportamiento frente a ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Los resultados mostraron que la adición de cenizas volantes modifica la porosidad de la mezcla, presentando un rango de vacíos de aire entre el 12% y el 28%, dependiendo tanto del tipo de ceniza como de la proporción utilizada. Asimismo, se observó que la resistencia a las condiciones climáticas adversas y a los ciclos térmicos se mantuvo dentro de parámetros aceptables, con valores de resistencia al agua y a las heladas que oscilaron entre el 96% y el 104%. Este artículo enfatiza la importancia de la gestión de residuos industriales y la explotación de recursos en el ámbito de la construcción sostenible, subrayando que el uso de cenizas volantes no solo mejora las propiedades del material asfáltico, sino que también ayuda a reducir el impacto ambiental relacionado con la acumulación y disposición de desechos industriales.

La investigación concluye que las cenizas volantes, particularmente las de clase C, tienen un gran potencial como reemplazo alternativo en mezclas asfálticas, promoviendo la implementación de prácticas de economía circular y la reducción de la huella ambiental en la construcción de pavimentos. Este enfoque integra la práctica de la ingeniería civil con los principios de sostenibilidad y conservación de recursos, abriendo la posibilidad de un desarrollo tecnológico en los materiales empleados en obras de carreteras.

El artículo [4] presenta un estudio experimental sobre el uso de ceniza de cáscara de arroz (RHA) y ceniza volante (FA) como alternativas de materiales de relleno en mezclas asfálticas en caliente, en sustitución de la cal hidratada (HL) que se emplea de forma habitual. Este estudio se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Civil del Instituto Indio de Ciencia y Tecnología de Ingeniería, localizado en Shibpur, Howrah, Bengala Occidental, India.

La investigación se enfoca en la elaboración de mezclas bituminosas de macadam denso (DBM) con distintas proporciones de cal hidratada, ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante, siguiendo el método de diseño Marshall y comparando los resultados con una mezcla convencional que contenía 2% de cal hidratada. Se evaluó el comportamiento de las mezclas a través de la metodología Marshall, específicamente la resistencia a la tracción indirecta. Los resultados mostraron que la mezcla asfáltica con ceniza de cáscara de arroz y ceniza volante tuvo un desempeño superior, siendo más económica debido a que la cantidad de asfalto necesaria se redujo entre un 0.75% y un 8% en comparación con la mezcla de control que contenía un 4% de relleno. Además, la ceniza de cáscara de arroz mostró una mayor afinidad con el asfalto, lo que sugiere un aumento en la rigidez con la inclusión de gotas de mástico bituminoso, proporcionando una adecuada integración con los componentes utilizados. El asfalto en caliente (HMA) generalmente contiene agregados de diferentes tamaños, ligantes

bituminosos y vacíos de aire. Los agregados actúan como un esqueleto, mientras que el betún proporciona una acción adhesiva que aglutina los áridos y contribuye con las propiedades viscoelásticas de la composición. El relleno, que es un polvo muy fino, juega un doble papel en la mezcla: llena los huecos entre los agregados minerales y, debido a su finura, se mezcla con el betún formando un mástico bituminoso de alta consistencia consigue influir notablemente en las propiedades físicas y también mecánicas de la mezcla. La publicación también buscó comprender el mecanismo de efecto de refuerzo de los rellenos en el mástico bituminoso a través de la microscopía óptica. Se utilizaron dos tipos de residuos como rellenos alternativos: RHA, recogida de un molino de arroz, y FA, de una estación de energía térmica. Se incluyó la cal hidratada convencionalmente utilizada (HL) para preparar mezclas de control para comparar resultados. Se caracterizaron los rellenos mediante pruebas de gravedad específica, área superficial específica y composiciones químicas elementales. El estudio también incluyó la preparación de HMA utilizando agregados de basalto indio y un ligante de betún de grado VG30, típicamente utilizado en la industria del HMA en India. Se utilizó el método Marshall para diseñar la mezcla DBM considerando varios tipos y proporciones de relleno con el fin de obtener los contenidos óptimos de betún. Además, se evaluó la resistencia ante la humedad de mezclas preparadas para ver la pérdida de resistencia a tracción indirecta tras inmersión en agua.

El artículo [5] presenta un estudio original publicado en una revista reconocida, donde se analiza el uso de ceniza de mazorca de maíz (MCA, siglas en inglés) así como material de relleno en producción de mezcla asfáltica en caliente destinada a mezclas con aglutinante. Esta investigación fue desarrollada en respuesta al incremento en la generación de desechos provenientes de distintas empresas y zonas agrícolas en Etiopía, lo que constituye un reto considerable en cuanto a su gestión y eliminación.

El artículo investigó sus características físicas y también químicas del residuo que es la ceniza de mazorca de maíz y preparó especímenes de asfalto en el cual utiliza el CSD el cual va a ser material del relleno de estándar, sin aun emplear MCA. Se reemplazó el relleno de CSD con MCA en proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100% en peso del polvo de piedra triturada (CSD). El cual se prepararon un total de treinta briquetas de mezcla, y por ende quince de los cuales se procedió a prepararon con un 6% de polvo de piedra triturada como el relleno en peso del agregado con un contenido de C.A o de betún entre 4.5 y 6.5%, los cuales por norma van en incrementos variables de 0.5% en términos de peso respecto al total de la mezcla para determinar la dosificación óptimo del betún. Los especímenes restantes se prepararon con el 5.30% de betún para determinar el reemplazo óptimo de MCA.

Así dichos resultados de la investigación revelaron que el porcentaje ideal para sustituir CSD por MCA es del 75% en peso del relleno de CSD o del 4.5% en peso total del agregado, durante la producción de la capa de aglutinante del asfalto caliente para carreteras sometidas a tráfico pesado. Además, se observó que este reemplazo del 75% de CSD por MCA ofreció la mejor estabilidad según el ensayo Marshall (11.7 KN) y el flujo (3.13 mm), mejorando notablemente sus propiedades mecánicas de asfalto. Dichos resultados también indicaron que cada residuo agrícola, como la ceniza de mazorca de maíz, pueden ser empleados como un sustituto parcial de los rellenos minerales en la capa de aglutinante en las mezclas de asfalto caliente. La MCA se categorizó como un material puzolánico de clase N, de acuerdo con los estándares ASTM C618, debido a su elevado contenido de óxido de silicio (60.56%), trióxido de aluminio (7.20%) y óxido de hierro (5.50%), obteniendo un valor de 73.26%. Esta investigación concluyó que la MCA es un material viable para sustituir parcialmente los rellenos minerales en la construcción de carreteras, siendo el 75% el porcentaje óptimo que maximiza tanto la estabilidad como la durabilidad en vías de tráfico pesado.

La tesis [6] analiza el uso con cenizas volantes generadas por una termoeléctrica de Ilo la que mejorara el comportamiento mecánico de dichas mezclas asfálticas en caliente. Estas cenizas, al ser un subproducto la que proviene con quema de carbón, se clasifican como un material puzolánico debido a su composición química, rica en dióxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro, lo que las convierte en un componente que potencialmente incrementa la resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas.

El estudio consideró varios porcentajes de cenizas volantes con 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85%, y 1.0% como sustituto del filler mineral, evaluando su comportamiento ya sea mecánico mediante el ensayo de Marshall, tracción indirecta (TSR) y Rueda de Hamburgo. Se encontró que una adición de 0.75% de cenizas de la termoeléctrica mejoraba notablemente la estabilidad de su mezcla, con valores cercanos a 3,853 kg/cm² y un TSR del 86.5%, aumentando su resistencia al daño por humedad el cual en comparación con mezclas tradicionales. Dicho estudio resalta que óptimo contenido de cenizas volantes es inferior al 0.75%, ya que a partir de ese punto se optimizan las propiedades especialmente mecánicas de la mezcla y se mejora su resistencia al daño por humedad. Además, se fomenta una alternativa más sostenible para la gestión de residuos industriales mediante la reutilización de cenizas ya sean volantes o de algún otro producto agrícola,

Los autores del escrito [7] abordan la optimización de mezclas bituminosas por medio de la incorporación del producto agrícola la cual es la ceniza de caña de maíz se utilizará como

modificador puzolánico, con su propósito de mejorar las características reológicas y mecánicas del pavimento asfáltico. Se examina la influencia de la ceniza en la estabilidad Marshall, la capacidad de resistir la deformación duradera y la susceptibilidad al deterioro que es generado por el agua.

El estudio está estructurado en un diseño experimental que varía la proporción de ceniza obtenida a través de combustión de caña de maíz en el asfalto en concentraciones de 0.2%, 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0%, hasta un 4.0%. Se emplean procedimientos estandarizados para hacer su caracterización sus materiales, incluyendo análisis granulométricos y evaluaciones de sus propiedades físico y también mecánicas del ligante asfáltico y de sus agregados.

Las pruebas o ensayos de laboratorio están enfocan en la determinación de estabilidad y flujo Marshall, la resistencia a tracción por compresión indirecta, y a su evaluación de la resistencia al daño por humedad mediante el ensayo de relación de tensión retenida (TSR). Además, se lleva a cabo en ensayo de rueda cargada de Hamburgo para medir la durabilidad frente al ahuellamiento.

Los resultados preliminares sugieren que la inclusión de este material derivado de la combustión, en proporciones de hasta un 10%, puede incrementar la estabilidad Marshall y mejorar la resistencia frente al deterioro por humedad, aumentando en 60% la resistencia a daños por humedad en mezclas con un 0.5% de ceniza, en comparación con composiciones convencionales. Dado que se ha observado un incremento en el ahuellamiento del pavimento, esto podría señalar una reducción en la durabilidad del asfalto bajo cargas repetitivas de tráfico. Este estudio establece una base para considerar que dicha ceniza de caña de maíz sera un aditivo viable en la ingeniería de pavimentos, con el potencial de mejorar la sostenibilidad y el rendimiento de las carreteras.

La tesis [8] de Rosales Lecca investiga la influencia que tendrá la incorporación de cenizas de carbón mineral en un 10% en propiedades reológicas y mecánicas de una mezcla del asfalto en caliente. La investigación se basa en su hipótesis que la modificación del asfalto tradicional con residuos industriales podría mejorar la resistencia a la deformación plástica, un factor clave hacia su prolongación de vida útil de las vías de comunicación.

Dicho enfoque experimental aplicado incluye la caracterización de agregados pétreos y polvo de carbón mineral mediante técnicas avanzadas como la calorimetría diferencial y la irradiación de rayos X dispersiva en energía (EDXRF), proporcionando un análisis detallado de la estructura química y las variaciones térmicas de los materiales. Se identificaron altas

concentraciones de óxidos de aluminio, silicio y azufre, así como trazas de calcio, vanadio, hierro, níquel, estroncio, titanio, fósforo y cloro.

Mediante su aplicación de su método de diseño Marshall, elaboraron muestras de mezcla asfáltica con diferentes proporciones de asfalto (4%, 4.5%, 5% y 5.5%) para establecer la dosificación óptima de la mezcla. Los ensayos mecánicos indicaron que dicha mezcla optimizada con cenizas del carbón mineral mostró una mejora en la resistencia a la carga y una reducción considerable de la deformación permanente, logrando un diseño siendo el óptimo de asfalto de 5.10%, en comparación con el 5.01% de la mezcla convencional.

Dichas investigaciones sugieren que su uso de cenizas de carbón mineral no solo incrementa su capacidad de carga, sino que también la resistencia a la deformación del asfalto, sino que también fomenta el aprovechamiento de subproductos industriales en la construcción de pavimentos. Esto representa una opción más sostenible y económicamente viable. Este estudio contribuye al campo de la ingeniería de pavimentos, facilitando una perspectiva técnica sobre la valorización de residuos industriales y su impacto en mejora los servicios en la infraestructura vial.

La investigación [9] aborda la problemática ambiental relacionada con la acumulación de residuos industriales, en particular las cenizas de cascarilla de arroz (CCOS), proponiendo su reutilización como material compuesto en la ingeniería de pavimentos. La teoría se centra en la evaluación sus propiedades mecánicas y la viabilidad estructural de dichas mezclas asfálticas ya sea modificadas de CCOS, evaluando su potencial para optimizar la resistencia y durabilidad del asfalto, así como su contribución a la reducción del impacto ambiental.

La metodología utilizada es experimental, siguiendo el enfoque de una investigación aplicada. El cual se sintetizaron 180 briquetas asfálticas para evaluar el comportamiento bajo diferentes niveles de tráfico, desde liviano hasta pesado. Se investigó la incorporación de CCOS como reemplazo parcial del filler convencional, en proporciones que variaron entre 0.25% y 1% en peso total de dicha mezcla.

Sus resultados experimentales, logrados mediante la metodología de Marshall, indican que la adición de CCOS mejora de manera significativa sus propiedades de dichas mezclas asfálticas, tales son su estabilidad, flujo y la densidad de vacíos, cumpliendo con las especificaciones de los agregados. La mezcla óptima se logró con un 0.75% de CCOS, demostrando ser la proporción más eficaz para los tres niveles de tráfico evaluados.

Este estudio contribuye en el enfoque de ingeniería civil y la infraestructura de caminos, ofreciendo la opción razonable para la gestión de residuos industriales y la fabricación de mezclas asfálticas mejoradas en sus propiedades, enfatizando la importancia de la innovación en materiales y la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales.

Según Capcha [10] investigaciones recientes sobre la que sería su incorporación de ceniza de tallos de retama (CTR) en la elaboración de mezclas asfálticas estas demostró que al utilizar dicho material puede mejorar tanto sus propiedades mecánicas. En el ensayo Marshall, se observó un aumento significativo en lo que sería su estabilidad de dichas mezclas con la adición de CTR en proporciones del 3% y 4%, alcanzando valores de 1431 kg y 1468 kg, superando el mínimo requerido de 900 kg. Esto sugiere que la CTR no solo aumenta la resistencia de las mezclas, sino que también mejora su rigidez. Además, en el ensayo de tracción indirecta dichas mezclas con CTR mostraron mayor resistencia a las tensiones, lo que indica una mayor capacidad para soportar las deformaciones provocadas por el tráfico, particularmente en mezclas con adiciones del 3% y 4%.

Por otro lado, el ensayo de desgaste por Cántabro mostró resultados mixtos. Las mezclas con CTR en porcentajes del 1% al 3% presentaron un leve aumento en el desgaste en comparación con las muestras convencionales, pero con la adición del 4%, el desgaste se redujo al 2.33%. Esto evidencia que, en ciertas proporciones, la CTR también mejora su resistencia a la abrasión. En conjunto, estos resultados indican que la ceniza de tallos de retama es una opción viable para dar mejoría en sus propiedades de dichas mezclas asfálticas, tanto en términos de resistencia mecánica como de durabilidad.

La investigación [11] sobre la incorporación de plástico reciclado en dichas mezclas asfálticas ha demostrado que este material mejora las propiedades tanto mecánicas y la durabilidad del pavimento. Según ensayos realizados en esta tesis, la incorporación de plástico PET triturado en proporciones de 0.5%, 1% y 1.5% sobre el agregado fino permitió determinar que el contenido óptimo era del 1%, mejorando sus características tanto físicas y estructurales su dicha mezcla asfáltica. A través del método de Marshall, se verificó que la resistencia hacia la deformación de su mezcla asfáltica con el producto reciclado que es el plástico aumentando ligeramente en 3.11% en balance con la mezcla tradicional, y su capacidad de soporte mejoró en un 4.49%.

En términos de durabilidad, el uso de PET triturado redujo la proporción de vacíos en un 2.5%, lo que mejoró su estabilidad de la mezcla. La densidad de la mezcla se redujo en un 1.7%,

optimizando así la colocación del pavimento. Estos cambios permiten una mejor resistencia ante cargas vehiculares pesadas y temperaturas extremas.

Desde una perspectiva financiera, el estudio mostró una disminución considerable en costos de su producción. El precio total dicha mezcla asfáltica con la adición de plástico reciclado fue un 2.63% menor al ser comparado con la mezcla tradicional. Este ahorro es muy significativo no solo por la reducción en el costo inicial en materiales, es que también por los menores costos de mantenimiento a largo plazo, ya que dicha vida útil del pavimento se extendió un 25%, debido a su mayor resistencia a las deformaciones y al desgaste. Además, el uso de plástico reciclado apoya la sostenibilidad ambiental, reduciendo la cantidad de desechos plásticos en el entorno y promoviendo una práctica más ecológica en la construcción de vías.

Según el estudio de Lizcano Garzón (2020) [12], evaluó el uso de su ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en reemplazo parcial del filler en sus mezclas asfálticas en caliente. Se consideraron tres tipos de mezclas: la mezcla densa en caliente tipo MDC-19 sin ceniza, mezcla con 50% de CCA y la mezcla con 100% de CCA. El filler mineral tradicional fue reemplazado parcialmente por CCA y se realizaron pruebas para medir su rendimiento en requisitos de estabilidad, flujo, resistencia al desgaste y comportamiento frente a la humedad.

En las pruebas Marshall, las mezclas que contenían un 50% de CCA lograron que su estabilidad de 8.5 kN y flujo de 3.5 mm, mientras que las mezclas con 100% de CCA alcanzaron una estabilidad de 9.1 kN y un flujo de 3.4 mm. Por otro lado, la mezcla sin ceniza mostró que su estabilidad de 8.1 kN, lo que sugiere que dicha adición de CCA si mejorara su resistencia mecánica de las mezclas asfálticas.

En cuanto al ensayo de desgaste Cántabro, las mezclas sin CCA mostraron una pérdida de desgaste del 7.5%, mientras que las mezclas con 50% de CCA redujeron esta pérdida al 4.2%. Las mezclas con 100% de CCA presentaron una reducción aún mayor, con una pérdida de solo 3.89%, lo que indica una total mejora considerable en lo que sería resistencia al desgaste debido al uso de CCA.

En dicha prueba o ensayo de tracción indirecta (TSR), que mide su resistencia a la humedad, siendo así las mezclas con 50% de CCA alcanzaron un TSR del 85%, mientras que las mezclas sin ceniza presentaron un TSR del 75%. Las mezclas con 100% de CCA lograron un TSR del 88%. Estos resultados muestran que su incorporación de CCA si mejora su resistencia en lo que sería mezclas asfálticas frente a la humedad.

Bases teóricas

Pavimento

En ingeniería pavimento se le conoce a la parte de la calzada que se ubica sobre un terreno natural o conocido como subrasante, y que generalmente se conforma o constituye por diversos espesores de materia prima de diferentes características y se encuentran en diferentes espesores, obedeciendo a un diseño estructural. El pavimento se diseña con un fin de soportar cargas generadas por un tráfico de vehículos [13].

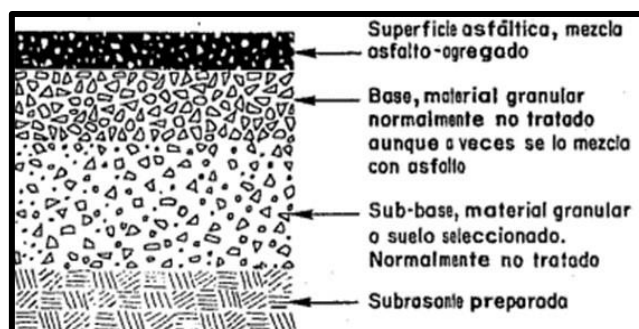
En términos generales, cuando hablamos de pavimentos asfálticos, se indica que su capa de rodadura sería compuesta por asfalto y se apoyaría en dos capas flexibles (base y subbase).

Tipos de pavimentos

Teniendo en cuenta lo especificado en el Manual de Carreteras [14] se clasifican en:

- **Pavimentos Flexibles:** Compuestos por capas de materiales bituminosos sobre agregados, estos pavimentos se adaptan bien a las cargas y cambios térmicos debido a su superficie asfáltica flexible, ideal para condiciones de tráfico variable [14].
- **Pavimentos Rígidos:** Formados por losas de concreto hidráulico, estos pavimentos distribuyen eficazmente las cargas pesadas, ofreciendo durabilidad y menor mantenimiento, adecuados para carreteras de alto tráfico y zonas industriales [14].
- **Pavimentos Semirrígidos:** Utilizan una base estabilizada ya sea con cemento o cal y se da una capa asfáltica en la parte superior, lo que les proporciona una combinación de resistencia y flexibilidad, haciéndolos adecuados para soportar cargas considerables sin afectar el confort en la conducción [14].

Imagen N° 01: Pavimento asfáltico



Fuente: *Tecnología del asfalto y prácticas de construcción* [15]

Cemento asfáltico

Define al cemento asfáltico o conocido también como asfalto a aquel material que tiene un color cercano al negro y que tienen propiedades cementantes y este compuesto principalmente por asfáltenos los cuales se encuentran de forma rustica o como resultado de la purificación del crudo de petróleo [16].

Al ingresar en contacto con oxígeno del ambiente, el asfalto, experimenta una reacción que resulta en la pérdida de sus características elásticas, volviéndose rígido y quebradizo [13]. Pavimento asfáltico se refiere a cualquier termino que generaliza todos los pavimentos cuya superficie de rodadura sea una capa superficial de áridos cubiertos y ligados por asfalto, así mismo compuesta por una o más capas inferiores las cuales dan soporte y rigidez a la estructura [15]. En conjunto todos los elementos resisten las cargas que transmiten los vehículos de cualquier índole que transitan por la vía, ya sea vehículo ligero o pesado.

El asfalto posee características químicas y físicas las cuales la hacen un producto imprescindible para la construcción. El asfalto tiene propiedades importantes tales como, firmeza, purificación y seguridad, la primera está relacionada a la característica del producto para fluir a diversas temperaturas lo que la convierte en un material termoplástico. El segundo lugar delimita la estructura química del material, ya que las impurezas son inertes en este material. La tercera da a conocer que el asfalto tiene afinidad química con las diferentes cargas eléctricas [15].

En una combinación tradicional que incluye asfalto y agregado con granulometría completa, el asfalto representa el 6.5% mientras que el agregado constituye el 93.5% del peso total de la mezcla. Es significativo destacar cómo un componente que tiene una contribución mínima ejerce un impacto considerable en el comportamiento de la mezcla [13].

Imagen N° 02: Briqueta de cemento asfáltico a temperatura ambiente



Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos [13]

Composición química del asfalto

El asfalto en términos químicos este compuesto por moléculas principalmente hidrocarburos y en cantidades mínimas de unidades policíclicos de estructuras semejantes y conjuntos eficaces con inclusión de elementos como el nitrógeno, azufre y oxígeno [17]

Sin embargo, estudios demuestran una gran parte de los asfaltos tienen elementos como [17]

Tabla 1: Composición del asfalto en términos químicos

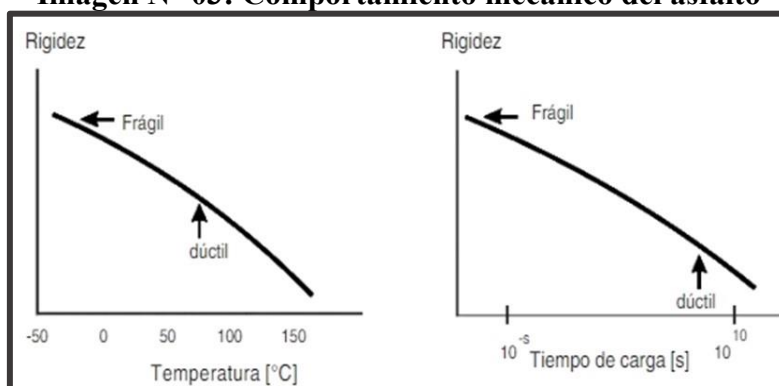
Carbón 82-88%	Hidrogeno 8 - 11%	Azufre 0 - 6%	Oxigeno 0 - 1.5%	Nitrógeno 0 - 1.5%
---------------	-------------------	---------------	------------------	--------------------

Fuente: Ingeniería de pavimentos, materiales, diseño y conservación [17].

Comportamiento mecánico del cemento asfáltico

La consistencia del betún varía en relación con el grado de calor y la duración el esfuerzo, lo que se conoce como su naturaleza viscoelástica. A altas temperaturas, como ocurre durante la mezcla a 135°C, el asfalto tiende a ser menos rígido. Con forme el calor disminuye, el asfalto se torna más duro. En condiciones de frío extremo, el asfalto puede agrietarse debido a su fragilidad y susceptibilidad a la ruptura[13].

Imagen N° 03: Comportamiento mecánico del asfalto



Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos [13].

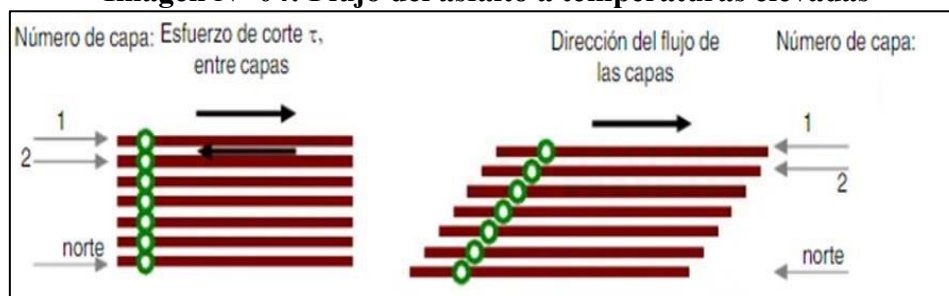
Observamos un fenómeno similar al graficar la velocidad de aplicación de esfuerzos (tiempo) y la dureza. La rigidez del asfalto es mayor cuando se aplican cargas de manera rápida, mientras que disminuye cuando las cargas se aplican lentamente, lo que resulta en una mayor deformación.

Comportamiento a temperaturas elevadas

En su definición, la viscosidad se refiere a la propiedad física de un material que indica su resistencia al flujo. Cuando se muestra que el flujo es pausado por lo que se puede observar a

nivel microscópico cómo se deslizan capas de elementos adyacentes unas encima de otras. El aguante o frote entre estas capas está relacionada con la rapidez referente, y disminuye gradualmente. Los fluidos Newtonianos presentan una conexión directa entre fuerza de corte y la rapidez relativa. Los gases, los líquidos y el betún a temperaturas elevadas (superiores a 60°C) nos muestran ejemplos comunes de fluidos newtonianos. Cuando se tienen temperaturas ambientes la viscosidad del betún se reduce a medida que acrecienta la velocidad relativa [13].

Imagen N° 04: Flujo del asfalto a temperaturas elevadas



Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos [13].

Comportamiento a bajas temperaturas

Cuando se tienen condiciones de bajas temperaturas o cuando se aplican cargas de forma vertiginosa, el cemento asfáltico actúa similar a un sólido con elasticidad asemejándose a ligas, ya que, al cesar el esfuerzo deformante, vuelven a su punto de vista inicial [13].

Clasificación de los cementos asfálticos

El asfalto que se emplea en riegos de liga y en lo que sería mezclas asfálticas de producción en caliente se procede a clasificar de acuerdo con la viscosidad absoluta, el grado de penetración. Dicha elección según su tipo de asfalto dependerá de las condiciones climáticas del lugar, conforme a la tabla de viscosidad específica que se presenta en la Tabla 02, y estará sujeta a la aprobación del supervisor y las directrices del proyecto [14].

Tabla 2: Tipos de cementos asfálticos según su selección

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: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Tabla 3: Características del cemento asfáltico según su clasificación 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: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Tabla 4: Propiedades del cemento asfáltico según su clasificación 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: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Mezclas asfálticas

Una mezcla asfáltica, también denominada aglomerado, está formada por combinaciones de agregados de origen pétreo y un aglutinante a base de hidrocarburos, lo que permite que los áridos queden cubiertos por el ligante. Generalmente, las mezclas asfálticas consisten en un total de 90% de agregados pétreos, 5% de algún filler y también un 5% de cemento asfáltico [19].

Existen criterios de clasificación que definen los tipos de una mezcla asfáltica, como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5: Clasificación de mezclas asfálticas

Parámetro	Tipo de mezcla	Características
ÁRIDO EMPLEADO (ACUMULATIVA)	▪ Mástic	Filler + Betún
	▪ Mortero	Árido fino + Mástic
	▪ Macadam	Árido grueso + Betún
	▪ Hormigón	Árido grueso + Mortero
TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA	▪ En frío (MBF)	Temperatura ambiente
	▪ En caliente (MBC)	Altas temperaturas
% DE HUECOS EN MEZCLA (PG-4)	▪ Densas (D)	3 a 6%
	▪ Semidensas (S)	6 a 10%
	▪ Gruesas (G)	10 a 15%
	▪ Abiertas (A)	15 a 22%
	▪ Porosas (PA)	22 a 28%
TAMAÑO TEXTURA SUPERFICIAL	▪ Gruesas (gravas)	$T_{máx} > 8 \text{ mm}$
	▪ Finas (arenas)	$T_{máx} \leq 8 \text{ mm}$
GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS	▪ Continuas	
	▪ Discontinuas	
ESTRUCTURA ESQUELETO MINERAL	▪ Sin esqueleto mineral	
	▪ Con esqueleto mineral	

Fuente: Influencia de la naturaleza del filler de aportación en la adhesividad árido ligante para mezclas bituminosas discontinuas [19]

Mezcla Asfáltica en Caliente

Definición

Se describe que una mezcla de asfalto en caliente es como si fuese la combinación de agregados pétreos y también un ligante hidrocarbonado, que se mezclan bajo condiciones de alta temperatura para crear dicha superficie de rodadura duradera y muy resistente [20]. Las composiciones asfálticas sometidas a temperaturas elevadas están formuladas con materiales previamente mencionados para asegurar una superficie de rodadura con propiedades óptimas de durabilidad y resistencia al desgaste [21].

Proceso de Fabricación y Aplicación

El procedimiento de producción de esta mezcla implica el calentamiento previo de los componentes, seguido de su colocación y compactación en la obra, siendo este un factor crítico para asegurar la integridad estructural del pavimento [22].

Este proceso requiere un control meticuloso de la temperatura para garantizar la correcta adhesión entre los agregados y el ligante, lo que es fundamental si hablamos de la duración y el desempeño del pavimento [23].

Ventajas y Desafío

Las mezclas asfálticas a altas temperaturas se valoran por su durabilidad y su capacidad para ser recicladas. Sin embargo, presentan retos, como la necesidad de un control preciso sobre la temperatura y los tiempos de curado para lograr las propiedades óptimas [24].

Características mecánicas de las mezclas asfálticas

- Fluidez y estabilidad

Una estabilidad representa la capacidad de la mezcla para resistir cargas sin deformarse en exceso, mientras que la fluidez hace referencia a la capacidad de la mezcla para adaptarse a cierta cantidad de nivel de deformación plástica previo al punto de quiebre. En otras palabras, la fluidez mide la habilidad para deformarse sin fracturarse [25].

- Resistencia a la Deformación Permanente

El fenómeno conocido como ahuellamiento, donde se forman depresiones en la superficie del pavimento debido a cargas repetitivas, es una preocupación clave en la evaluación de la calidad del asfalto [26]. El aguante a la deformación permanente es crítico si queremos evitar el ahuellamiento, representando una de las principales fuentes de fallas en los pavimentos de asfalto.

- Elasticidad y Resistencia a la Fatiga

En cuanto al módulo de elasticidad es un indicador de la dureza del asfalto, y el aguante a la fatiga mide su destreza para soportar la formación de fisuras bajo cargas cíclicas [27].

Pavimento de concreto asfáltico en caliente

Esta labor implica la producción y aplicación de composiciones asfálticas a altas temperaturas, dispuestas en una o varias capas sobre una base adecuadamente apta y recubierta.

Materiales

- Agregados Gruesos de Origen Mineral

Los agregados gruesos deben ajustarse a las especificaciones técnicas definidas por la EG2013, cuyas características se presentan en la tabla 06 [14].

Tabla 6: Requisitos 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: Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas para Construcción [14].

- Agregados de minerales finos

Los agregados cuando son finos deben cumplir las metodologías establecidas en la norma EG-2013, cuyos detalles se encuentran en la tabla 07 [14].

Tabla 7: Especificaciones de 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.° 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.° 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: Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas para Construcción [14]

- Gradación o granulometría para mezclas asfálticas en caliente

La granulometría o gradación en cuanto a mezclas asfálticas en caliente es un proceso fundamental que determina las proporciones correctas de los distintos tamaños de agregados utilizados para conformar una mezcla acorde con los estándares requeridos. Es imprescindible que en cuanto a agregados estén sin terrones de arcilla, materia orgánica u

otras sustancias perjudiciales. Se permite un máximo de 1% de partículas frágiles, de acuerdo con el ensayo MTC E 212 [18].

En la producción del MAC, deben seguirse las gradaciones especificadas en la Tabla 8, que incluye tres tipos de mezclas (MAC1, MAC2 y MAC3), con diferentes porcentajes de paso a través de tamices específicos [14].

Tabla 8: Gradación o granulometría para mezcla asfáltica en caliente

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: Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas para Construcción [14]

Requisitos para una mezcla asfáltica en caliente

Los requisitos para la mezcla de concreto bituminoso se establecen en las normas técnicas y varían dependiendo la clase de mezcla. A continuación, se detallan los parámetros clave y sus respectivos valores:

Tabla 9: Requisitos para una mezcla asfáltica en caliente

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	Ver tabla 10		
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: Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas para Construcción [14]

Igualmente, se establecen los vacíos pequeños o mínimos en el agregado según el método de gradación seleccionado.

Tabla 10: Requisitos para vacíos mínimos en agregado mineral

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Fuente: Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas para Construcción[14]

Filler en Mezclas Asfálticas

- Función

El filler, un componente de gran finura desempeña la labor de ocupar los intersticios que existen en los áridos y facilitar la distribución uniforme del ligante, contribuyendo así a la cohesión y estabilidad de la mezcla [28]. El filler no solo rellena los vacíos, sino que también actúa como un agente de modificación que puede mejorar la viscosidad del ligante y la rigidez de la composición asfáltica [29].

Para la incorporación y evaluación adecuada del filler en mezclas asfálticas, se utiliza un procedimiento de tamizado que permite clasificar el material según su granulometría. Los tamices empleados comúnmente para este propósito tienen aberturas muy finas, generalmente menores de 0.075 mm (malla 200). Este proceso de tamizado asegura que el filler tenga el tamaño de partícula adecuado para llenar efectivamente dichos espacios vacíos con los agregados más grandes, contribuyendo así a la estabilidad y durabilidad del pavimento [14].

- Influencia en las Propiedades Mecánicas

La elección y la cantidad de filler son factores clave en cuanto a la modificación de las propiedades ya se mecánicas del asfalto, como su resistencia y durabilidad [28]. La calidad del

filler juega un papel esencial en propiedades como la rigidez, resistencia y durabilidad de dichas mezclas [30].

Cenizas volantes de carbón y materiales naturales en estado crudo o calcinado (Aditivo Mineral))

La ceniza volante es un subproducto granular que surge a partir de la incineración de carbón pulverizado, el cual es arrastrado por los gases de escape. Este residuo, comúnmente empleado en el sector de la construcción, se añade al concreto como un aditivo mineral, mejorando las reacciones cementosas y puzolánicas cuando se mezcla con cemento portland y agua [31].

Se clasifica principalmente en tres clases basadas en su composición química y fuente de carbón:

Clase F: Generada principalmente por la incineración de carbón bituminoso. Estas cenizas tienen características puzolánicas que mejoran la resistencia y durabilidad del hormigón, aunque sin una actividad cementosa significativa [31].

Clase C: Proviene de la combustión de lignito o carbón subbituminoso. Estas cenizas no solo tienen propiedades puzolánicas, sino que también presentan características cementosas gracias a su mayor contenido de calcio, lo que las hace apropiadas para aplicaciones específicas en la construcción que requieren tales propiedades [31].

Clase N: Comprende puzolanas de materiales naturales en estado crudo o calcinadas, así como tierras de diatomeas, esquistos, pedernales y cenizas volcánicas, las cuales pueden necesitar un proceso de calcinación para activar sus propiedades puzolánicas [31].

Composición química

Tabla 11: Requisitos químicos para ceniza

Requisitos químicos	Clase de mezcla mineral		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) más óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) más óxido de hierro (Fe ₂ O ₃), porcentaje mínimo	70.0	70.0	70.0
Trióxido de azufre (SO ₃), porcentaje máximo	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, porcentaje máximo	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, porcentaje máximo	5.0	5.0	5.0

Fuente: AASHTO: M 295-001 [31]

Ceniza de Mazorca de Maíz

Características Fisicoquímicas

La ceniza resultante por la combustión de mazorcas de maíz se distingue por su contenido de sílice y otros minerales, lo que sugiere un potencial uso en aplicaciones de construcción [32]. La ceniza de mazorca de maíz, rica en sílice, puede ofrecer propiedades puzolánicas que son beneficiosas en aplicaciones de construcción, similar a otros materiales cementantes [33].

Potencial como Material de Construcción

Investigaciones han revelado que ciertas cenizas poseen propiedades que las hacen adecuadas para su uso en materiales de construcción, como es el caso de las cenizas con características puzolánicas [27]. La ceniza de mazorca de maíz ha demostrado potencial para mejorar la sostenibilidad en los materiales de construcción, ofreciendo una alternativa ecológica a los fillers tradicionales [34].

Ventajas Ambientales y Económicas: El uso de subproductos agrícolas en la construcción puede ayudar a una disminución de dependencia de dichos recursos no renovables y minimizar el impacto ambiental del sector [34].

ENSAYOS DE LABORATORIO

Considerando lo establecido en las tablas 6 y 7, se explican los ensayos a continuación.

Método para determinar el contenido de humedad evaporable en agregados mediante secado – NTP 339.185

El formato para determinar el contenido húmedo en los agregados mediante secado es un estándar esencial en la construcción. Esta metodología asegura que los materiales empleados en mezclas asfálticas y de concreto mantengan su calidad, influyendo en las propiedades mecánicas necesarias para garantizar durabilidad y resistencia. Este método está establecido en la norma NTP 339.185 [35], que define las directrices y condiciones requeridas para llevar a cabo el ensayo, garantizando la precisión y repetibilidad de los resultados, como se evidencia en la tabla 12

Tabla 12: Tamaño de muestra del agregado

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (3/16") (N°4)	0,5
9,5 (3/8")	1,5
12,5 (1/2")	2
19,0 (3/4")	3
25,0 (1")	4
37,5 (1 ½")	6
50 (2")	8
63 (2 ½")	10
75 (3)	13
90 (3 ½")	16
100 (4)	25
150 (6)	50

Fuente: Norma técnica peruana 339.185[35]

Es por que dicha humedad total se calcula restando el peso seco al peso inicial. La fórmula empleada es la que se ve a continuación:

Fórmula para contenido de humedad (%):

$$\frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

W =Masa de la muestra húmeda original, en gramos	D =Masa de la muestra seca, en gramos
---	--

Granulometría - MTC E 204

El proceso de granulometría, conforme a lo estipulado en la MTC E204, se enfoca en determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños en una muestra de agregado a través del tamizado. Este análisis es fundamental para asegurar que los materiales utilizados en la construcción cumplan con las especificaciones técnicas requeridas, garantizando la estabilidad y resistencia de las estructuras [18].

El procedimiento se da con selección de muestras representativas de agregado, la cual se somete a procesos de secado en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta que alcance un peso invariable. Luego, dicha muestra se pasa por una serie de tamices estandarizados para medir el material retenido en cada uno de ellos. Posteriormente, se calcula el porcentaje de estos materiales retenidos por cada tamiz, y dichos resultados se presentan en forma gráfica para confirmar que estas distribuciones granulométricas del agregado cumplan con los estándares establecidos [18].

Tamices Utilizados

Los tamices empleados en este análisis granulométrico incluyen aperturas de diferentes tamaños (en mm):

Tabla 13: Masa mínima requerida de la muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Durabilidad al sulfato de magnesio según la MTC E 209

El ensayo según su durabilidad con el sulfato de magnesio tiene como propósito calcular la resistencia de dichos agregados, tanto gruesos como los finos, ante la degradación provocada por soluciones saturadas de este compuesto. Este método es clave para evaluar la capacidad de los agregados de soportar condiciones extremas, como ciclos de congelación y descongelación. Para llevar a cabo este ensayo, los agregados finos deben pasar por cada tamiz con una abertura de 3/8" o 9.5mm. La muestra debe tener un peso adecuado, de manera que después del tamizado, al menos 100 gramos de material queden retenidos en cada tamiz. Los pesos retenidos en estos tamices deben representar al menos el 5% del peso total de la muestra procesada, utilizando los tamices nominales correspondientes [18]:

Tabla 14: Tamices estandarizados para el ensayo de durabilidad frente al Sulfato de agregado fino

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

El material grueso que se utilizará en el ensayo corresponde a la parte que queda discreta en el tamiz N.º 4 (4.75 mm). Dicho material será sometido a un análisis similar a los agregados finos. En el cual la muestra debe contar con el peso necesario para que, al pasar por el tamiz, se retenga una cantidad adecuada de material en cada tamiz. Una vez dicho eso se retienen los pesos que deben representar un el 5% del total de la muestra [18].

Tabla 15: Tamices estandarizados para el ensayo de Durabilidad con Sulfato (Agregado Grueso)

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Se emplean recipientes para sumergir dichas muestras, permitiendo que el sulfato tenga acceso y drenaje libre sin que se pierda material. El volumen del sulfato debe por lo menos

cinco veces más que el de la muestra. Se utilizan equipos que regulan la temperatura para mantenerla constante durante la inmersión de las muestras. Las balanzas deben contar con una capacidad mínima de 500 gramos, con una precisión de 0.1 g para los agregados finos y de 5,000 gramos con una precisión de 1 g para los agregados gruesos. El horno donde se hará el secado debe ser capaz de conservar temperaturas entre 105°C y 110°C, y debe evaporar 25 g de agua por hora con las puertas cerradas [18].

La preparación de dicha solución se lleva a cabo disolviendo sulfato de magnesio heptahidratado en H₂O a una temperatura de entre 25 y 30 °C, con una proporción de 1,400 gramos de sulfato por litro de agua. Las muestras se sumergen en esta solución durante un período de entre 16 y 18 horas, asegurando que el nivel de la solución cubra la muestra al menos 1.5 cm de profundidad, manteniendo su temperatura constante de 21 ± 1 °C en todo el proceso de inmersión. Después, estas muestras se escurren durante 15 ± 5 minutos donde se procede a secar en un horno que mantenga una temperatura de 105 y 110 °C para alcanzar un peso estable. El peso se considera constante cuando la diferencia entre pesadas consecutivas es menos al 1% de dicho peso de la muestra tras cuatro horas de realizar el secado. Este ciclo de inmersión y secado se repite hasta completar los ciclos necesarios [18].

Para concluir el ciclo, se procede a lavar y secar las muestras, eliminando cualquier residuo de sulfato de magnesio. Posteriormente, las muestras se secan nuevamente a temperatura de 105 y 110 °C para alcanzar un peso fijo, tras lo cual se tamizan. En cuanto a las medidas y especificaciones: Su tamaño de cada muestra debe tener suficientemente tamaño grande para retener al menos 100 gramos de material en cada tamiz tras el proceso de tamizado. La concentración de la solución de sal para la saturación debe ser de 350 g de sal por litro de H₂O a 22 °C, o 1,400 g de sal heptahidratada por litro de H₂O a 23 °C. Su temperatura del magnesio debe mantenerse a 21 ± 1 °C durante al menos 48 horas antes de su uso. Los ciclos de ensayo alternan entre inmersión en la solución y su proceso de secado en el horno para completar el número de repeticiones establecidas [18].

Abrasión Los Ángeles

El ensayo de abrasión (MTC E 207) da como objetivo evaluar la resistencia de agregados gruesos frente a desgaste y el impacto dentro de un tambor de acero giratorio. Este método es esencial para determinar su durabilidad de agregados traídos para la construcción de carreteras y otras obras de infraestructura. Para realizar este ensayo, es necesario utilizar la máquina de

Los Ángeles, la que consiste en un tambor cilíndrico de acero hueco, con un diámetro al interior de $711 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ y una longitud de $508 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Dicha máquina tiene que operar a una velocidad entre 30 y 33 revoluciones por minuto (rpm) y está equipada con una pestaña de acero desmontable. También es necesario emplear tamices con aberturas normalizadas de acuerdo con la norma NTP 350.001, además de balanzas con una capacidad mínima de 5 kg y su precisión del 0.1% en cuanto a la carga de ensayo. Asimismo, se debe considerar el peso de dicha muestra de ensayo como se observa en la tabla 16 [18]:

Tabla 16: Carga según su tipo de gradación para el ensayo de abrasión

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	$5\,000 \pm 25$
B	11	$4\,584 \pm 25$
C	8	$3\,330 \pm 20$
D	6	$2\,500 \pm 15$

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

El proceso del ensayo inicia con la preparación de la muestra, que consiste en lavar y realizar el secado en un horno hasta que alcance un peso estable a $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$. Posteriormente, cada una de las fracciones debe separarse y recombinarse de acuerdo con la gradación indicada en la tabla 17 [18].

Tabla 17: Gradación para el ensayo de abrasión

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	$1\,250 \pm 25$	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	$1\,250 \pm 25$	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	$1\,250 \pm 10$	$2\,500 \pm 10$	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	$1\,250 \pm 10$	$2\,500 \pm 10$	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	$2\,500 \pm 10$	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	$2\,500 \pm 10$	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		$5\,000 \pm 10$	$5\,000 \pm 10$	$5\,000 \pm 10$	$5\,000 \pm 10$

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

A continuación, la muestra de un ensayo como dichas esferas de acero se colocan en la máquina Los Ángeles, utilizando 12 esferas, cada una pesa alrededor de 390 g y 445 g. El

tambor se hace girar con velocidad de 30 rpm, completando así 500 revoluciones. Al finalizar con el ensayo, se descarga dicho material de la y se hace una separación inicial sobre un tamiz estándar (N.º 12). Su fracción que es mayor a 1.70 mm se procede a lava y luego se da un secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en horno hasta alcanzar un peso estable. La medición de masa se realiza con precisión de $\pm 0.1\text{ g}$. Este procedimiento asegura que dichos materiales al ser utilizados en construcción cumplan con los estándares necesarios de resistencia y durabilidad de las infraestructuras [18].

Partículas chatas y alargadas

Dicho ensayo da como objetivo establecer el porcentaje de las partículas planas y alargadas en el agregado grueso, ya que con estas partículas pueden tener un impacto negativo en la trabajabilidad y compactación del hormigón o del asfalto, lo cual afecta la estabilidad estructural y la durabilidad de dicha mezcla y así para realizar el ensayo, se solicita el uso de diversos instrumentos, incluyendo una balanza con una precisión de 0.1 g, un calibrador o regla para medir las dimensiones de las partículas, y tamices de los tamaños especificados a continuación [18]:

Tabla 18: Peso para determinar el ensayo de Partículas Chatas y Alargadas

Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm - (pulgada)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg - (lb)
9,5 - (3/8)	1 - (2)
12,5 - (1/2)	2 - (4)
19,0 - (3/4)	5 - (11)
25,0 - (1)	10 - (22)
37,5 - (1.1/2)	15 - (33)
50 - (2)	20 - (44)
63 - (2.1/2)	35 - (77)
75 - (3)	60 - (130)
90 - (3.1/2)	100 - (220)
100 - (4)	150 - (330)
112 - (4.1/2)	200 - (440)
125 - (5)	300 - (660)
150 - (6)	500 - (1100)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

El procedimiento comienza con la elaboración de la muestra, asegurándose de que el agregado esté limpio y seco. Luego, se procede a medir el peso de dicha muestra seleccionada para el ensayo. Siguiendo así que las partículas se clasificarán manualmente en planas,

alargadas o normales, de acuerdo con sus proporciones dimensionales. Se consideran partículas planas aquellas cuyo espesor es inferior a la mitad de su anchura, mientras las partículas alargadas serán aquellas que tengan una longitud superior al doble de su anchura. Finalmente, las ya sea partículas planas y alargadas se pesarán por separado, registrando el peso de cada grupo [18].

Caras fracturadas

El ensayo MTC E 210 como finalidad evaluar la cantidad de caras que están fracturadas presentes en agregados gruesos, lo cual actúa como un indicador de la resistencia y durabilidad del material. Las caras fracturadas son importantes para mejorar la adhesión en mezclas de concreto y asfalto. Para este ensayo, se utilizan diversos equipos esenciales, como una balanza con precisión de 0.1 g y una lupa o binocular que permita una mejor visualización y clasificación de las caras. Asimismo, se deben tener en cuenta los requisitos establecidos según la TMN, tal como se muestra a continuación [18].

Tabla 19: Peso de muestra con relación al tamaño del agregado

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 ½")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 ½)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 ½)	90 000 (198)

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales* [18].

El procedimiento comienza con la elaboración de la muestra, lo cual incluye un lavado y secado al agregado grueso para eliminar cualquier rastro de polvo y partículas finas. Luego, se selecciona una muestra representativa, generalmente de 5 kg. Posteriormente, se clasifica cada partícula con caras fracturadas, verificando si tienen al menos una cara rota. Finalmente, se lleva a cabo el pesaje para calcular su proporción respecto al peso total de la muestra [18].

Sales Solubles Totales

El MTC E 219 ensayo que tiene como propósito cuantificar la cantidad total de sales solubles presentes en una muestra de agregado, tanto grueso como fino. Este parámetro es esencial para evaluar la posible reactividad de las sales y su impacto en la durabilidad del concreto. Los equipos requeridos para este ensayo incluyen una balanza analítica con una precisión 0.01 gramos, un horno que mantenga una calentura de 105 ± 5 °C, una plancha calefactora, mecheros, vasos de precipitados, tubos de ensayo, pipetas, agua destilada, solución de nitrato y cloruro de bario. Tanto en cantidad de muestra como el volumen deben ajustarse acorde a lo especificado en la tabla 20 [18]:

Tabla 20: Peso de la muestra para ensayo de sales solubles totales

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

El procedimiento inicia con la elaboración de la muestra, seleccionando una fracción representativa del agregado, aproximadamente 500 g para lo que sería agregados finos y 5 kg en agregados gruesos. Las muestras se proceden a lavar y secar para eliminar impurezas y humedad superficial. La extracción de sales solubles se realiza triturando la muestra seca y tamizándola con un tamiz de 0.075 mm (N° 200), luego mezclando 100 g ramos del material tamizado con 500 ml de H₂O destilada en un recipiente adecuado, agitando la solución durante una hora a temperatura ambiente. Para medir la conductividad, la solución se filtra para eliminar las partículas en suspensión, y la conductividad de la solución filtrada se mide con un conductímetro [18].

Las especificaciones y medidas incluyen un tamaño de muestra de 500 g para agregados finos y 5 kg para agregados gruesos, un tamaño inferior de 0.075 mm tras el tamizado, y un volumen de solución extractora de 500 ml de agua destilada por cada 100 g de agregado [18].

Absorción y peso específico agregados gruesos

El ensayo o prueba de absorción MTC E 206, determina la cantidad de H₂O que un agregado absorber bajo condiciones controladas. Este ensayo es clave para comprender las propiedades del agregado que influyen en la mezcla y en la calidad tanto del hormigón como del asfalto. Los equipos necesarios incluyen balanza con exactitud de 0.1 gramos, un horno para secar a 110 °C, y recipientes de inmersión para saturar los agregados con agua. El peso mínimo requerido se detalla en la tabla 21 [18].

Tabla 21: Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Dicho proceso comienza con la elaboración de la muestra, seleccionando y lavando una fracción representativa de agregados finos o gruesos. La muestra una vez ya seca en un horno a 110 °C permite determinar su masa inicial. Posteriormente, se sumerge en agua por un tiempo de 24 horas para garantizar su completa saturación, manteniéndola sumergida hasta el momento de la pesada para impedir la pérdida de agua absorbida. Después de este periodo, dicha muestra se retira del agua, se procede a secar ligeramente con una franela para eliminar el exceso de H₂O superficial, y se pesa de inmediato para obtener su peso saturado superficialmente seco (SSD). Finalmente se vuelve sumergir en H₂O y se pesa mientras está completamente sumergida para registrar su peso bajo el agua [18].

Las especificaciones y medidas incluyen un tamaño de muestra de aproximadamente 500 g para agregados finos y 5 kg para agregados gruesos, y un tiempo de saturación de 24 horas en agua a temperatura ambiente [18].

Para realizar los cálculos relacionados con agregados gruesos, se emplean fórmulas como se muestran a continuación:

Tabla 22: Formulas para ver la absorción y peso específico del A.G.

Peso Específico de masa (Pem):	$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} * 100$
Peso específico de masa saturada con superficie seca (P _{eSSS}):	$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} * 100$
Peso específico aparente (P _{ea}):	$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} * 100$
Absorción (P _b):	$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} * 100$
Donde:	A = Peso de la muestra seca al aire (gramos). B = Peso de la muestra saturada, superficialmente seca al aire (gramos). C = Peso de la muestra saturada en agua (gramos).

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

Absorción y peso específico de agregado fino

El ensayo MTC E 205 evalúa la cantidad de H₂O que un agregado es capaz de absorber bajo condiciones controladas. Este análisis es crucial para determinar la porosidad de los agregados, lo cual influye en la relación H₂O con el cemento de dichas mezclas de concreto, afectando tanto su durabilidad como su resistencia. Para realizar este ensayo, se necesitan varios equipos, como una balanza analítica con una precisión 0.1 gramos, el cual se necesita también un horno que conserve las muestras a una calentura constante de 110 °C, y recipientes adecuados para la inmersión completa de los agregados en agua [18].

El procedimiento comienza con la elaboración de la muestra, seleccionando una porción específica del agregado. Esta se procede a lavar y se secar en un horno de 110 °C para alcanzar un peso firme, lo que permite determinar el peso seco. A continuación, la muestra se sumerge totalmente en H₂O durante 24 horas para asegurar una saturación completa. Tras la saturación, la muestra se retira del H₂O, se procede a secar superficialmente con una franela limpia y húmedo para eliminar la abundancia de H₂O, y se pesa inmediatamente para obtener el peso en

estado SSD. Finalmente, se procede a realizar el pesaje SSD y se vuelve a sumergir en agua y se pesa mientras está bajo el agua para obtener su peso saturado [18].

Para los cálculos de agregados finos se utiliza las siguientes formulas:

Tabla 23: Formulas para ver la absorción y peso específico A.F.

Peso Específico de masa (Pem):	$P_{em} = \frac{W_0}{(V - V_a)} * 100$
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss):	$P_{esss} = \frac{500}{(V - V_a)} * 100$
Peso específico aparente (Pea):	$P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} * 100$
Absorción (P_b):	$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} * 100$
Donde:	<p>Pem = Peso específico de masa. Wo = Peso en el aire de la muestra secada en el horno. V = Volumen del frasco en cm³. Va = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.</p>

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales [18].

MTC E 114 - Equivalente de arena

El ensayo o prueba equivalente de arena (MTC E 114) se utiliza para analizar la proporción de finos y material granular presentes en una muestra de suelo o agregado, lo cual es esencial para establecer la calidad del material, en particular su limpieza y su aptitud para la construcción de bases y subbases en pavimentos. Los equipos empleados para este ensayo incluyen cilindros graduados especiales, un sifón, y una solución de riego para lavar la muestra en el cilindro, además de una balanza con precisión 0.1 gramos y una barra de medición cilíndrica de unos 57 mm (aproximadamente 2¼ pulgadas) con una capacidad de 85 ± 5 ml. También se requiere el tamiz (4.75 mm), según la ASTM E, un embudo para transferir las muestras dentro del cilindro graduado, dos botellas de 3.8 litros un galón para realizar el almacén tanto la solución de lavado como la de trabajo, un plato plano para mezclar, un cronómetro para medir el tiempo, y papel filtro Whatman número 2V. La solución de trabajo se prepara disolviendo 454 gramos de cloruro de calcio anhidro en 1.9 litros que equivale a 0.5 galones de H₂O destilada, luego se enfría la

solución a ambiente. El cual se filtra a través de papel, añadiendo después 2050 gramos de glicerina USP y 47 gramos de formaldehído, para finalmente mezclar y diluir a 3.8 L (1 galón).

El proceso inicia con la preparación de la muestra, donde se escoge una fracción de agregado y tiene que pasar por el tamiz N.º 4 para separar las partículas más finas, pesando aproximadamente 500 g de la fracción que atraviesa el tamiz. Esta porción se coloca en un cilindro graduado diseñado para el ensayo, al que se le agrega una solución de riego hasta alcanzar un nivel predeterminado en el cilindro. Posteriormente, la muestra se agita con vigor para suspender las partículas finas, dejándola en calma para que las partículas se asienten. Luego de este reposo, se mide el nivel de sedimento de arena y se compara con el nivel total de la suspensión. Dicho equivalente de arena se calcula mediante su proporción en lo que es la altura del sedimento de arena y la suspensión.

Cálculo de equivalente de arena:

$$SE = \left(\frac{\text{Lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} \right) * 100$$

Donde:

SE = Arena equivalente

AASTHO TP 57 - Azul de metileno

Este método se utiliza para realizar la identificación la proporción de arcilla y material orgánico en los agregados finos, calculando la proporción de azul de metileno que dichos materiales pueden absorber. Este ensayo es fundamental para evaluar dicha calidad de un agregado y su efecto en las propiedades del hormigón con el asfalto. Los equipos y materiales necesarios incluyen buretas de 50 ml para realizar su medida con mayor precisión dicha solución, también utilizaremos un agitador que sea magnético, y una varilla revolvente para mezclar la solución con el agregado. Además, se requiere balanza de precisión de 0,001 gramos para pesar las muestras de agregados, así mismo se debe tener una varilla de vidrio para retirar las muestras, un cronómetro para medir los intervalos de tiempo durante la prueba, un platón, un tamiz de 75 µm (No 200) para preparar la muestra, en efecto se debe tener un matraz volumétrico que sea de 1000 ml, 3 vasos de precipitados tipo Griffin (500 ml) para preparar la

solución, papel filtro Whatman No. 2 para observar el anillo de azul de metileno, y finalmente un horno para poder secar la muestra a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ [36].

Dicho procedimiento comienza con la elaboración de cada muestra, que implica tener un secado al agregado fino a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y tamizarlo con el tamiz de $75 \text{ }\mu\text{m}$, utilizando únicamente su material que pasaría por los determinados tamices para el ensayo. Para preparar la solución de azul de metileno, se disuelve 1 g de dicha solución en H₂O lo que debe ser suficiente para que se produzca 200 mililitros, de modo que cada mililitro contenga 5 mg de solución de azul de metileno. El proceso de titulación consiste en colocar 10.0 g de material en un vaso que especialmente sea precipitados, añadir 30 mililitros de H₂O destilada y hacer un agitado hasta formar una lechada. Posteriormente, se añade gradualmente el azul de metileno con una bureta, agitando así de cada material o adición. Se procede a colocar una gota sobre el papel filtro luego se observar la formación de un anillo azul. La añadidura de la solución continúa hasta tener un anillo bien definido aproximadamente en su entorno de la gota, indicando que el agregado ya no puede adsorber más azul de metileno. Para calcular su cantidad, se utiliza el siguiente procedimiento [36]:

$$VA = \frac{C * V}{W}$$

Donde:	<p>VA = Cantidad de azul de metileno en miligramos de azul por cada gramo de material seco que pasa por el tamiz N° 200.</p> <p>C = Concentración de la solución de azul de metileno, expresada en miligramos de azul por mililitro de solución.</p> <p>V = Mililitros de solución de azul de metileno necesarios en la titulación.</p> <p>W = Gramos de material seco empleados en la prueba.</p>
---------------	--

Índice de plasticidad que pasaría por la malla N°40

La prueba o ensayo para determinar su el índice de plasticidad MTC E 111 es la que se tendrá de referencia para evaluar las propiedades cohesivas y la plasticidad de dichas muestras de un suelo que previamente han sido tamizados (N° 40). Este índice ayuda a clasificar los suelos según su comportamiento y adecuación para diferentes aplicaciones en ingeniería civil, como cimentaciones y carreteras. Los equipos necesarios incluyen un tamiz N°40 para separar la

porción del suelo que será utilizada en el ensayo, balanzas precisas hasta 0.01 g, recipientes para mezclar y almacenar las muestras de suelo, y herramientas para amasar, que se utilizan para preparar rollos de suelo [18].

El procedimiento inicia con la preparación de la muestra, seleccionando y preparando el suelo para asegurarse de que esté libre de partículas grandes y piedras. Luego, el suelo es tamizado a través de la malla N°40 para obtener la porción fina necesaria para el ensayo.

Para determinar el límite líquido, se toma una pequeña fracción de suelo y se procede hacer la mezcla con H₂O incluso se debe tener una consistencia adecuada para cerrar una ranura de 2 mm de ancho con 25 golpes en el dispositivo de Casagrande. Se realizan varias pruebas ajustando el contenido de agua con el propósito de establecer una relación entre el número de golpes y el contenido de H₂O, lo cual permite calcular sus límites líquidos y plástico el cual se amasa otra porción de suelo con menos agua hasta que pueda ser enrollado en hilos de 3 milímetros de diámetro sin que se rompan. Luego, se mide el contenido de agua en el momento en que los hilos comienzan a romperse [18].

Índice de plasticidad que para por la malla N°200

El ensayo que se utiliza acá es el índice de plasticidad MTC E 111, utilizando la malla N°200, se emplea para evaluar la plasticidad y las características cohesivas de las partículas finas de suelo. Este análisis es esencial para clasificar los suelos según su comportamiento mecánico y su adecuación para la construcción y otras aplicaciones en ingeniería civil. Los equipos necesarios incluyen un tamiz N°200 para separar la porción fina del suelo, una balanza precisa de 0.01 g, un recipiente de mezcla para preparar las muestras de suelo con agua, una copa de Casagrande para medir el límite líquido y herramientas para amasar y formar rollos de suelo que servirán para determinar el límite plástico [18].

El procedimiento comienza con la preparación de la muestra, seleccionando una porción de suelo y eliminando las partículas gruesas, seguido de su tamizado a través del tamiz N°200. Para determinar el límite líquido, dicha fracción de suelo se mezcla con H₂O hasta que alcance su consistencia que permita cerrar una ranura de 2 mm de ancho con 25 golpazos en la copa de Casagrande. El contenido de agua se ajusta, repitiendo el ensayo para establecer la curva de fluidez y establecer el límite líquido. Entonces el límite plástico, se amasa una fracción de suelo que contenga menos H₂O para que así se pueda enrollar 3 mm de diámetro en cada hilo sin que

rompan. Luego, se mide el contenido de agua en el momento en que los hilos comienzan a desmoronarse [18].

Cálculo del Límite Plástico para la fracción que pasa por las mallas N°40 y 200:

El límite plástico se determina usando la fórmula se me muestra a continuación:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

Cálculo del Índice de Plasticidad para la fracción que pasa por las mallas N°40 y 200:

$$I.P. = L.L - LP \text{ donde: } L.L = \text{Límite Líquido } P.L. = \text{Límite Plástico}$$

Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall - MTC E 504

Dicho procedimiento Marshall es técnica estándar utilizada para definir las mezclas bituminosas a altas temperaturas. Se enfoca en establecer una composición óptima de una mezcla y la adecuada cantidad de ligante asfáltico para obtener una densidad adecuada y resistir la deformación bajo carga. Desarrollada inicialmente por Bruce Marshall, esta metodología se basa en compactar las muestras en un dispositivo de moldeo en laboratorio que simula las condiciones de compactación que se dan en el campo [37].

Para la ejecución de las pruebas de flujo y estabilidad usando el aparato Marshall (MTC E 504), es necesario evaluar al menos tres especímenes. Estas muestras deben ser uniformes en cuanto a características, asegurando la consistencia de los resultados. Cada muestra debe utilizar igual tipo de agregado, con la misma calidad y graduación, igual cantidad de filler, igual fuente de ligante, y debe tener la misma cantidad y grado de ligante. Donde, dicha preparación de las muestras debe seguir un procedimiento homogéneo, incluyendo su temperatura o calentura de la mezcla, los métodos de compactación y los procesos de enfriamiento [18].

Estabilidad: En la prueba Marshall, la estabilidad mide la fuerza máxima que una muestra de mezcla bituminosa compactada puede soportar antes de fallar. Este valor es un indicador directo de la cabida que la mezcla tiene para resistir las deformaciones bajo situaciones de carga, similares a las que se presentan en el tránsito vehicular. Un mayor valor de estabilidad indica

que la mezcla es más resistente a la deformación plástica y, por lo tanto, es más adecuada para aplicaciones en carreteras con alto tránsito o condiciones exigentes.

Flujo: El flujo mide la deformación, en milímetros, que experimenta la muestra bajo carga máxima durante la prueba Marshall. Básicamente, representa la cantidad de asentamiento que sufre la muestra antes de llegar a su punto de falla. El valor de flujo es un indicador de maleabilidad dicha mezcla asfáltica. Una mezcla que tenga un flujo adecuado tiene suficiente flexibilidad para adaptarse a las contracciones y expansiones que ocurren debido a las variaciones de temperatura, evitando así la aparición de grietas.

Ensayo de tracción indirecta - AASHTO T 283- MTC E 522

Los ensayos de tracción indirecta, según lo establecido en la normativa AASHTO T 283, tienen por objetivo determinar la resistencia mecánica de dichas mezclas asfálticas cuando se encuentran bajo diferentes influencias térmicas y ambientales. Este ensayo consiste en exponer las probetas de asfalto a un rango de temperaturas que imitan las condiciones a las que se someterá un pavimento en servicio. El procedimiento incluye saturar las probetas en agua a una temperatura estándar de 25 ± 0.5 °C, someterlas a ciclos de congelación a -18 ± 0.5 °C y luego a una fase de descongelación a 60 ± 1 °C, para simular los efectos del congelamiento descongelamiento y del envejecimiento acelerado.

La TSR se mide aplicando una carga diametral sobre la briqueta a una velocidad persistente hasta que esta falla por fractura en su parte media, siendo ensayada a una temperatura de 25 ± 0.5 °C. Este valor permite verificar la consistencia y efectividad del ensayo. La carga máxima alcanzada y las dimensiones de la probeta se utilizan para realizar el cálculo de TSR en términos técnicos.

La relación de TSR se calcula como el porcentaje de resistencia a la tracción de las probetas tratadas respecto a las probetas control. Según las normas, un TSR superior al 80% indica que la mezcla tiene una adecuada resistencia a los daños ocasionados por el H₂O y las condiciones térmicas. Estos ensayos son fundamentales para valorar la idoneidad de las composiciones asfálticas y para el diseño de pavimentos que puedan resistir las variaciones climáticas, manteniendo su integridad estructural y funcionalidad a lo largo del tiempo [38].

Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste - MTC E 515

La prueba Cántabro para medir su pérdida por desgaste es un método estándar que evalúa la capacidad de resistencia de las mezclas bituminosas abiertas ante el desgaste. Este

procedimiento es clave para analizar la disgregación de las mezclas asfálticas en condiciones totalmente adversas de tráfico y clima, determinando la fracción de material que se desprende a dicha mezcla al someterse a un proceso de rotación controlada. Los equipos y materiales necesarios para esta prueba incluyen el tambor de Los Ángeles, que rota las muestras de mezclas bituminosas; balanza con precisión de 0.1 gramos para pesar los especímenes antes y después de la prueba; y tamices que se usan para recuperar y separar los fragmentos que se desprenden durante la prueba [18].

El proceso inicia con la preparación de las muestras, donde se deben preparar al menos cuatro probetas para cada contenido de ligante evaluado, con el fin de garantizar la consistencia estadística en los resultados. Es necesario que cada probeta sea representativa y presente uniformidad tanto en su composición como en su preparación. Luego, cada muestra se pesa cuidadosamente antes de iniciar la prueba para definir un punto de referencia que permita evaluar la pérdida por desgaste. Las probetas se colocan en el tambor Los Ángeles, donde son sometidas a un número específico de rotaciones, generalmente entre 300 y 500, con el objetivo de simular el desgaste que sufre el material en condiciones reales de tráfico. Tras completar las rotaciones, el material desprendido se recolecta, se tamiza y se vuelve a pesar. La comparación entre el peso inicial y final permite calcular la pérdida por desgaste mediante fórmula que se ve a continuación [18]:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Materiales y métodos

Tipo y diseño de investigación

Tipo y Nivel de Investigación

En estudio se delimita a modo de una indagación de carácter aplicada y experimental. En su vertiente aplicada, el propósito es emplear fundamentos teóricos para la resolución de un desafío concreto: el fortalecimiento de las cualidades mecánicas del asfalto caliente en mediante la

integración de ceniza de mazorca de maíz. Este enfoque es esencial para la innovación en métodos constructivos, especialmente en la pavimentación de vías, promoviendo la utilización de recursos más sostenibles y eficientes.

Desde la perspectiva experimental, la investigación se enfoca en la alteración intencionada de la variable independiente, la proporción de ceniza de mazorca de maíz, para observar su influencia en la variable dependiente, que son las características mecánicas del asfalto. Este método es fundamental para determinar la existencia de una conexión causal entre la incorporación de la ceniza y las mejoras observadas en las propiedades del asfalto.

Diseño de Investigación

La orientación metodológica seleccionada es experimental, con la implementación de grupos comparativos. Se establecerán dos grupos distintos un grupo control, que será sometido a la mezcla asfáltica convencional(patrn), y un grupo experimental, al que se incorporará ceniza de mazorca de maíz en proporciones específicas. Se realizarán mediciones iniciales de las características mecánicas del asfalto en ambos grupos para establecer una línea base. Tras la adición de la ceniza, se efectuarán mediciones finales para identificar cualquier cambio en estas características.

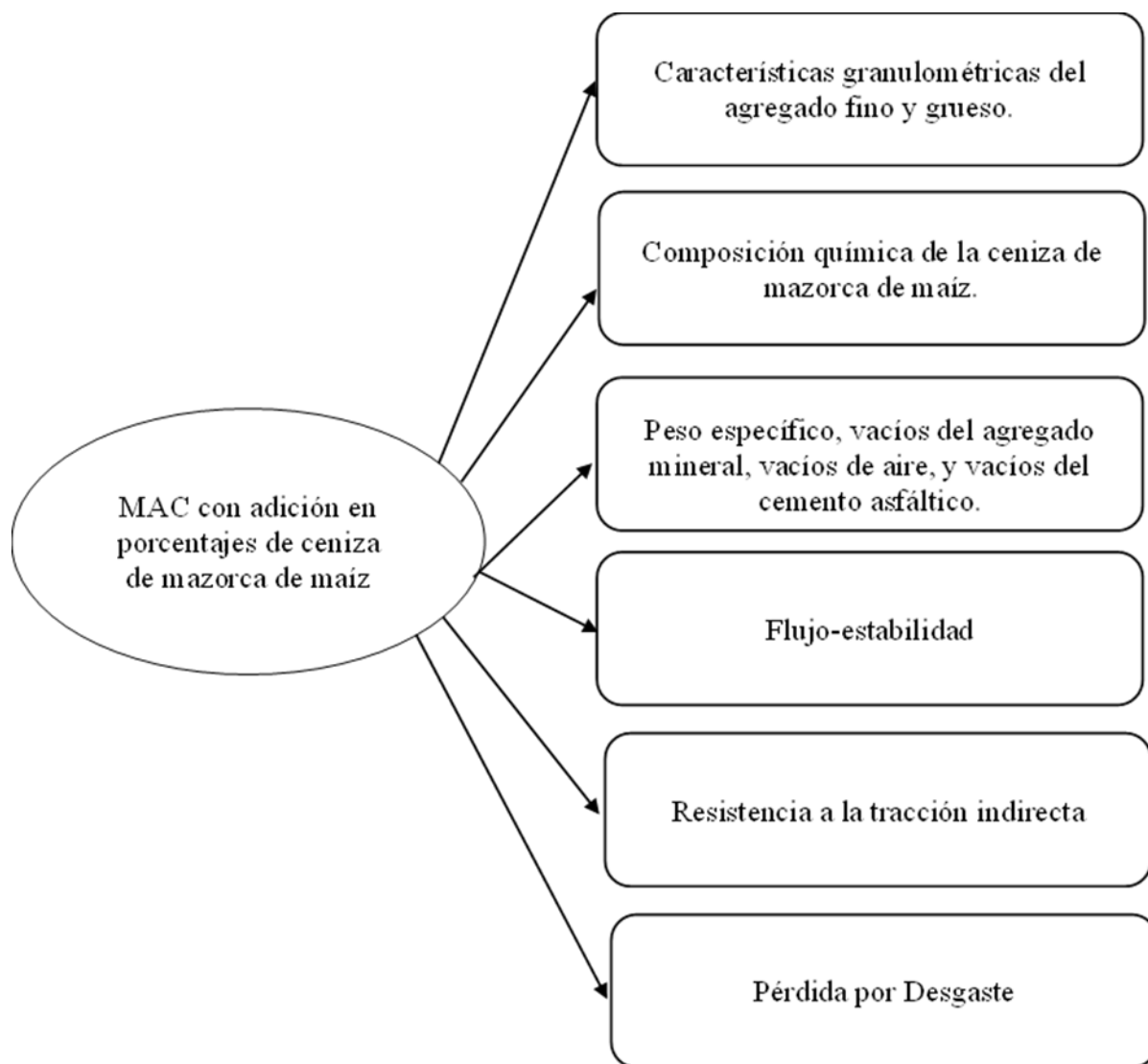
Este diseño permite una comparación efectiva entre las mezclas asfálticas con y sin ceniza de mazorca de maíz, proporcionando una base sólida para corroborar o refutar la hipótesis propuesta. La secuencia de medición antes y después de la intervención garantiza que los cambios observados en las características mecánicas puedan ser atribuidos con confianza a la inclusión de la ceniza.

Metodología de la investigación

La metodología utilizada en este estudio sigue un enfoque cuantitativo, centrado en la recopilación y análisis de datos numéricos con la finalidad de evaluar el efecto de la ceniza de mazorca de maíz en las propiedades mecánicas del asfalto. Se utilizarán técnicas estadísticas para analizar los datos obtenidos y determinar la significancia de las mejoras observadas. Este enfoque cuantitativo es fundamental para proporcionar resultados medibles y replicables que sustenten las conclusiones del estudio.

Fundamento teórico que sustenta la hipótesis

Gráfico 01: Fundamento teórico



Fuente: Desarrollo propio

Hipótesis

La adición de ceniza de mazorca de maíz en proporciones específicas como sustituto parcial del filler mejorará significativamente las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

Variables

Dependientes: Proporción de ceniza de mazorca de maíz.

Independientes: Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Operacionalización de variables

Tabla 24: Variable Independiente

VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, NTP)
PROPORCIÓN DE CENIZA DE MAZORCA DE MAÍZ.	Cantidad de ceniza de mazorca de maíz adicionado a la mezcla asfáltica en caliente.	% de peso de la mezcla	25%, 50%, 75% y 100%	Balanza electrónica con aproximación de 0.1 g.

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 25: Variable Dependiente

VARIABLE	DEMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, NTP)
Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.	Resistencia	Estabilidad	Kg	Metodología Marshall-AASHTO T 245-MTC E 504
		Flujo	mm	
		Porcentaje de vacíos de aire	%	
		Porcentaje de vacíos de los minerales	%	
	Resistencia al daño por humedad	Resistencia al daño por humedad inducida	%	Ensayo de tracción indirecta -AASHTO T 283-MTC E 522
Perdida por desgaste	Desgaste	%	Ensayo de cántabro-MTC E 515	

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 26: Variable Interviniente

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Tipo de Granulometría de Agregados	mm	MAC-2
Tipo de cemento asfáltico	It	PEN 60/70
Tipo de tráfico: pesado	EALS	10-30 millones

Fuente: Desarrollo propio

Población y muestra

La población estará formada por una cantidad de 136 briquetas de mezcla asfáltica en caliente, específicamente diseñadas para simular escenarios de tráfico pesado, de las cuales para determinar el diseño de la mezcla para establecer el contenido óptimo de asfalto será determinado mediante el método Marshall, variando entre 4% y 6% en intervalos de 0.5% por peso del total de mezclas convencionales, la selección y la cantidad de muestras, para los ensayos se definirán en concordancia con los lineamientos establecidos en las normativas técnicas actuales (AASHTO T 245-MTC E 504), como se documenta en la tabla de referencia 23, asegurando el cumplimiento con el mínimo de especímenes requeridos para la validación experimental según los protocolos estandarizados.

Para el diseño de mezcla asfáltica

Tabla 27: Cantidad de muestra para determinar el % óptimo de asfalto (Muestra Patrón)

Muestra para encontrar el % óptimo contenido de asfalto con ensayo Marshall					
Porcentajes					
4%	4.5%	5%	5.50%	6%	Numero de muestras
8	8	8	8	8	40.00

Fuente: Desarrollo propio

Para las composiciones asfálticas que incorporan proporciones fraccionarias de ceniza de mazorca de maíz, bajo la premisa de un contenido ya establecido y óptimo de ligante asfáltico determinado para dicha mezcla convencional, se observa lo siguientes tablas:

Tabla 28: Numero de muestras para determinar el ensayo de Marshall

Muestra para ensayo Marshall					
Porcentajes agregados al óptimo contenido de asfalto					
Muestra con Porcentajes de Ceniza de Mazorca de maíz					
0%	25%	50%	75%	100%	Numero de muestras
8	8	8	8	8	40.00

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 29: Numero de muestras para determinar el ensayo de Tracción Indirecta

Muestra para ensayo de Tracción Indirecta					
Porcentajes agregados al óptimo contenido de asfalto					
Muestra con Porcentajes de Ceniza de Mazorca de maíz					
0%	25%	50%	75%	100%	Numero de muestras
8	8	8	8	8	40.00

Fuente: Desarrollo propio

El ensayo de pérdida por desgaste mediante el método de Cántabro se efectuará tanto en la muestra de referencia como en la que contiene ceniza de mazorca de maíz, utilizando el porcentaje óptimo de asfalto determinado a través del ensayo Marshall y el ensayo de Tracción Indirecta.

Tabla 30: Numero de muestras para determinar el ensayo de Cántabro de Pérdida por desgaste

Muestra para Ensayo de Cántabro de Pérdida por Desgaste		
Porcentajes para el patrón y óptimos		
Muestra con Porcentajes de Ceniza de Mazorca de maíz		
Patrón	Óptimo	Numero de muestras
8	8	16.00

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 31: Resumen de número de briquetas

TABLA RESUMEN DE ENSAYOS	
ENSAYOS	PARCIAL
ENSAYO MARSHALL: Muestra para encontrar el % óptimo contenido de asfalto	40.00
ENSAYO MARSHALL: Muestra patrón y con adición de Ceniza de Mazorca de Maíz	40.00
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA: Muestra patrón y con adición de Ceniza de Mazorca de Maíz	40.00
ENSAYO DE CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE: Patrón y Optima	16.00
TOTAL	136.00

Fuente: Desarrollo propio

Muestra:

En este contexto, la selección de muestra representa las características esenciales de la población estudiada. Se clasifica como una muestra de tipo no probabilístico, ya dichas unidades de estudio no se eligen mediante criterios aleatorios, sino que su selección se basa en directrices normativas y antecedentes científicos. Según estudios realizados por Agnieszka Wozzuk, Lidia Bandura y Wojciech Franus, se evaluaron mezclas asfálticas con adiciones de cenizas volantes en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%, observando mejoras notables en la porosidad y la resistencia frente a condiciones extremas. Cada uno de estos ensayos se ajustó a los lineamientos establecidos por AASHTO y el MTC, los cuales especifican la cantidad mínima de muestras necesarias para la conducción de los ensayos.

Instrumentos y técnica e de recolección de datos

Tabla 32: Recolección de datos

TECNICAS	INSTRUMENTOS
Observación	Guía de Fotos
Recopilación Bibliográfica	Fichas técnicas
Ensayos de Laboratorio	Guías de Ensayos
Procesamiento de datos	Software Excel

Fuente: Desarrollo propio

Instrucciones de análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los resultados, se llevaron a cabo diversos ensayos siguiendo los lineamientos establecidos por AASHTO y MTC. Entre los ensayos realizados, se incluyó el diseño de mezclas asfálticas utilizando la metodología Marshall (AASHTO T-245,

MTC E 504), la evaluación de la resistencia al daño causado por la humedad (AASHTO T 283, MTC E 522), y la medición de la pérdida por desgaste (MTC E 515). La investigación comenzó identificando el lugar adecuado para la realización de los ensayos. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de suelos y asfalto de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, con ubicada en el distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. En el Anexo 41, se detallan los procedimientos empleados. Para alcanzar los objetivos plantados, se consideraron las siguientes actividades:

- A. Producción de ceniza de mazorca de maíz y su posterior caracterización tanto granulométrica como química.
- B. Caracterización, combinación y preparación de agregados siguiendo la Metodología Marshall.
- C. Caracterización del cemento asfáltico utilizado.
- D. Diseño de la metodología Marshall en el diseño de la mezcla asfáltica de referencia (patrón y con adición).
- E. Determinación de la mezcla asfáltica frente a daños inducidos por humedad.
- F. Evaluación de la resistencia de las mezclas asfálticas frente a la pérdida por desgaste.

A. Producción de ceniza de mazorca de maíz y su posterior caracterización tanto granulométrica como química

El componente que se incorporará es la ceniza de mazorca de maíz, en remplazo de filler tradicional (cemento Portland Tipo I) en diferentes porcentajes descritos anteriormente que no solo se basa en antecedentes, sino que también ha sido objeto de un estudio químico. Es crucial señalar que este material exhibe propiedades puzolánicas, dicha ceniza se obtuvo mediante un proceso el cual se inició con la recolección de mazorca de maíz(tusa), de las chacras locales tras la cosecha de los granos, la cual proviene de la Provincia de Chiclayo situada a una altura de 27 metros sobre el nivel del mar. Como se muestra en la imagen número 05.

Imagen N°05: Recolección de mazorca de maíz



Fuente: Desarrollo propio

Las mazorcas se expusieron al aire o al sol durante 10 horas en espacios abiertos para reducir su contenido de humedad antes de ser quemadas y convertidas en ceniza como se observa en la imagen número 6, las mazorcas de maíz fueron quemadas hasta convertirlas en cenizas a una temperatura de 700° como se observa en la imagen 7, luego se tamizo por la malla 200 y se envió a laboratorio, así obteniendo su composición química como se evidencia en la imagen 9.

Imagen N°6: Secado de la mazorca de maíz



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°7: Quemado de la mazorca de maíz



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°8: Ceniza de mazorca de maíz



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°9: Composición química de la ceniza de mazorca de maíz

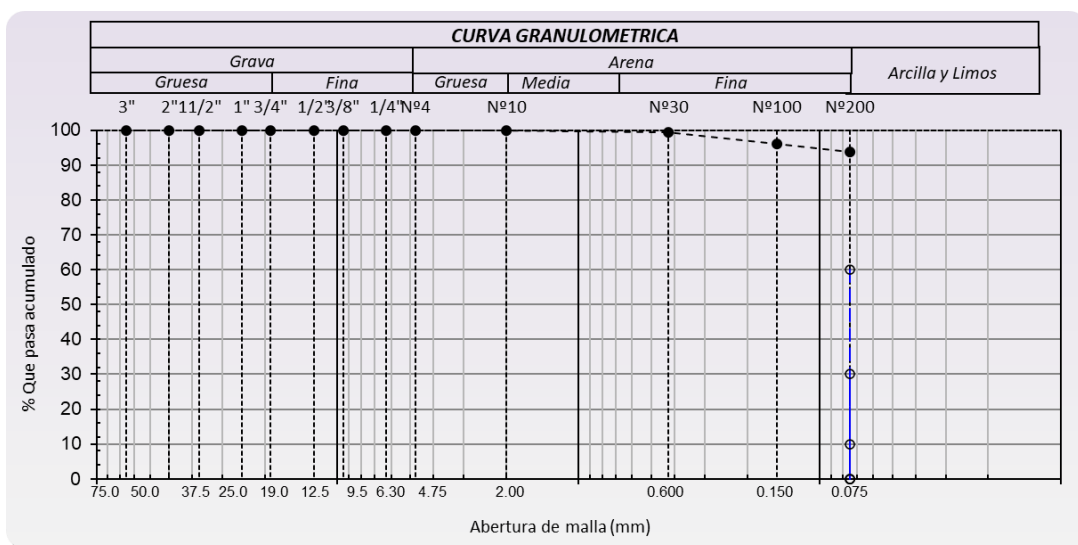
COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
DIOXIDO DE SILICIO (Si O ₂)	58.54	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
OXIDO DE CALCIO (Ca O)	12.86	
TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	9.77	
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃)	3.18	
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	6.21	
OXIDO DE TITANIO (Ti O)	1.44	
OXIDO DE ESTRONCIO (Sr O)	1.89	
OXIDO DE COBRE (Cu O)	0.37	
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	<0.01	
OXIDO DE ZINC (Zn O)	0.013	
OXIDO DE MANGANESO (Mn O)	<0.01	
PÉRDIDA AL FUEGO	5.707	

Determinación	Unidades	Resultados
Densidad	gr/cm ³	0.641

Fuente: Laboratorio físico químico ambiental Perú S.A.C.

El principal material utilizado en este estudio es la ceniza de mazorca de maíz. En la cual su curva granulométrica de este producto se muestra en la imagen 10.

Imagen N°10: Curva de distribución de partículas de ceniza de mazorca de maíz.

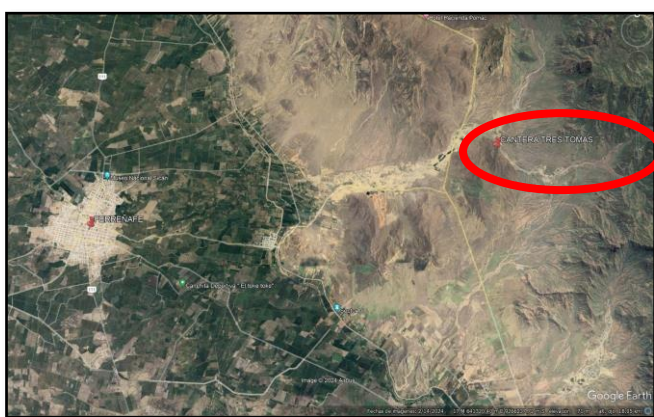


Fuente: Desarrollo propio

B. Caracterización, combinación y preparación de agregados siguiendo la Metodología Marshall

Los insumos empleados en el presente estudio incluyen piedra triturada con un tamaño nominal de 1/2" y arena tamizada, ambos obtenidos de la cantera Tres Tomas, ubicada en el distrito de Manuel Antonio Mesones Muro, en la provincia del distrito de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. Se comprobará que estos materiales cumplen con las especificaciones del Manual de Carreteras para cada tipo de agregado, garantizando su calidad [14].

Imagen N°11: Ubicación del agregado



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°12: Arena Zarandeada



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°13: Piedra chancada 1/2"



Fuente: Desarrollo propio

Las propiedades de la mezcla de agregados, tales como el de resistencia a agentes como el sulfato de magnesio, la abrasión de Los Ángeles, la presencia de partículas planas y alargadas, caras fracturadas, sales solubles, absorción, el equivalente de arena, la angularidad, el azul de metileno, el índice de plasticidad y el peso específico, son evaluadas. Estas características se examinan siguiendo los parámetros establecidos por la normativa peruana. Este análisis resulta crucial para la preparación adecuada de la mezcla asfáltica en caliente estándar.

1. Granulometría de agregados gruesos y finos

Para este ensayo, se llevó a cabo una granulometría global detallado utilizando una muestra de 5000 gramos de agregado, que incluía tanto fracciones finas como gruesas. El procedimiento consistió en seleccionar tamices estandarizados conforme a las especificaciones, organizándolos en orden descendente y colocando dicha muestra en el tamiz superior y se procedió a realizar el tamizado manualmente.

Imagen N°14: Granulometría agregados



Fuente: Desarrollo propio

2. Durabilidad al sulfato de sulfato de magnesio

En este ensayo, se utiliza una muestra de 100 gramos de agregado fino y grueso, retenida en tamices estandarizados conforme a las especificaciones. Los tamices seleccionados para el agregado fino son los números 100, 50, 30, 16 y 8. El procedimiento incluye lavar las muestras sobre los tamices respectivos y secarlas en un horno a 110 °C durante 24 horas. Una vez secas, se sumergen en el sulfato de magnesio preparada ya con H₂O destilada, asegurando evitar

cualquier tipo de contaminación externa, y se dejan en inmersión durante 16 horas. Posteriormente, se escurren y se vuelven a colocar en el horno durante 24 horas. Este proceso de inmersión y secado se repite cinco veces. Tras completar los cinco ciclos, los agregados se lavan cuidadosamente con H₂O destilada para eliminar residuos. Luego, se secan nuevamente en el horno durante otras 24 horas. Finalmente, se tamizan las muestras y se pesan para establecer el porcentaje de desgaste.

Imagen N°15: Durabilidad al sulfato de sulfato de magnesio en agregados



Fuente: Desarrollo propio

3. Sales Solubles totales

En este ensayo, se emplea una muestra de 500 gramos de agregado tanto fino como grueso. El proceso comienza colocando las muestras en recipientes que las cubren completamente con agua destilada, agitándolas durante aproximadamente 10 minutos. Posteriormente, se extrae una parte del agua utilizada para el lavado, y se lleva a cabo un proceso de cristalización para determinar o establecer la cantidad de sales presentes en la muestra.

Después, las muestras se calientan hasta alcanzar el punto de ebullición y se vierten en un vaso de precipitados. Finalmente, las muestras se colocan en un horno por un período de 24 horas para asegurar su secado completo. Al final de este tiempo, se calcula el porcentaje de sales solubles presentes en las muestras.

Imagen N°16: Sales solubles totales en agregados

Fuente: Desarrollo propio

4. Absorción y peso específico de agregado fino

Se toma una muestra de 500 gramos de agregado fino y se coloca en una fiola. Después, se añade agua destilada y se agita durante al menos 45 minutos para asegurar que se eliminen todas las burbujas. Posteriormente, se llena la fiola hasta la marca calibrada y se deja reposar durante un día completo. Tras este periodo, se determina el peso correcto de la fiola. El material contenido se transfiere a un recipiente vacío, se seca en un horno, se procede a dejar enfriar completa y finalmente volvemos a realizar el pesado y hacemos el registro.

Imagen N°17: Absorción y peso específico de agregado fino

Fuente: Desarrollo propio

5. Peso específico y absorción de agregados grueso

En esta prueba o ensayo, se utilizó una proporción de 4000 gramos de agregado. Se evaluó el peso específico, tanto en su estado saturado como en superficie seca, junto con la absorción, en agregados que previamente se habían sumergido en agua durante 24 horas. Posteriormente, se eliminó el agua de la muestra hasta que alcanzó una condición superficialmente seca, para luego sumergirla nuevamente por unas 16 horas adicionales. Después de lavar las muestras, se pesó el agregado al finalizar el ensayo. En el caso de los agregados gruesos, se sometieron a un proceso de ebullición y se volvieron a pesar para determinar el peso final. Finalmente, las muestras se colocaron en una canastilla, se pesaron y se introdujeron de nuevo en el horno para completar el proceso.

Imagen N°18: Peso específico y absorción de agregados grueso



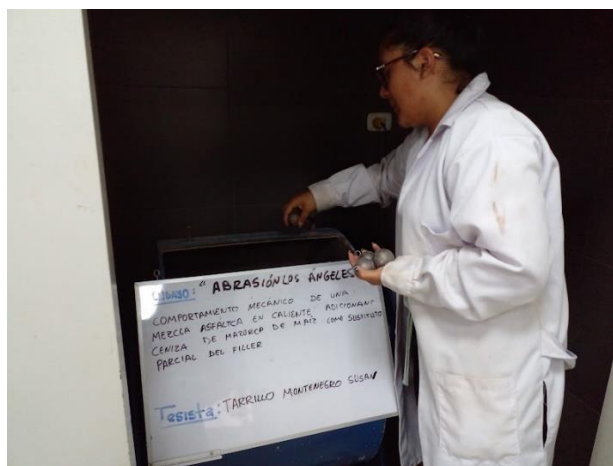
Fuente: Desarrollo propio

6. Ensayo de Desgaste mediante el Método de Los Ángeles

En este ensayo se utiliza una muestra de 5000 gramos conforme a la gradación tipo B. Se separan 2500 gramos para cada tamiz, ajustándose a las especificaciones, junto con 11 esferas. Tanto la muestra como las esferas se introducen en la máquina denominada Los Ángeles, que opera a una velocidad de entre 30 y 33 rpm, ejecutando un total de 500 revoluciones.

Posteriormente, se extrae el material y se tamiza utilizando el tamiz número 10. Finalmente, se pesa el material que no presenta recubrimiento.

Imagen N°19: Abrasión Los Ángeles



Fuente: Desarrollo propio

7. Caras Fracturadas

La muestra se limpia utilizando el tamiz N°04 y se registra su peso. Para determinar cuántas partículas presentan caras fracturadas, el material se extiende y se analiza cada partícula. Se separan en dos grupos: el primero contiene aquellas con una o dos caras fracturadas, mientras que el segundo incluye las que no tienen esta característica. Finalmente, se pesa cada grupo y se anotan los valores.

Imagen N°20: Caras fracturadas en agregado grueso



Fuente: Desarrollo propio

8. Partículas Chatas y Alargadas

Para este ensayo determinamos la muestra que pasa por el tamiz N°4 hasta obtener aproximadamente 100 partículas. Luego, cada partícula se clasifica en tres categorías: alargadas, planas o aquellas que no son ni alargadas ni planas. Posteriormente, se utiliza un calibre para determinar en qué grupo pertenece cada partícula.

Imagen N°21: Partículas chatas y alargadas



Fuente: Desarrollo propio

9. Equivalente de arena

Se tomó un kilo de agregado fino y se realizó un cuarteo. Adicionalmente, se extrajeron 100 ml de una galonera de agua y se reemplazaron con solución stock, agitando la mezcla durante un minuto dentro del mismo envase de agua. Luego, la mezcla se vació en tres probetas graduadas hasta alcanzar la marca de 10 cm. En un molde separado, se llenó con material fino humedecido, compactado con 25 golpes hasta el ras. Cada probeta se llenó con el material fino y se agitó durante 100 revoluciones. Después, se esperó 15 minutos antes de agitar nuevamente, y se dejó reposar otros 30 minutos para tomar lecturas de la altura del material asentado. Con la ayuda de un elemento, se compactó el material y se registró la medida final.

Imagen N°22: Equivalente de arena

Fuente: Desarrollo propio

10. Índice de Plasticidad

El material seleccionado que atraviesa los tamices N°40 y N°200 se satura con agua destilada y se coloca en una bolsa cerrada para reposar durante 24 horas. Luego, se realiza el ensayo usando una cuchara de Casa Grande. El material se esparce y con la ayuda de acanalador, se divide exactamente por la mitad. La manivela se maneja a una determinada velocidad de 2 golpes por cada segundo, lo que hace que las dos mitades del material se junten nuevamente. Se anota el número de golpes necesarios y se toma una pequeña porción del material con una espátula para pesarlo, llevarlo al horno durante 24 horas y volverlo a pesar. Este procedimiento se repite, aumentando gradualmente la humedad del agregado para disminuir la cantidad de golpes necesarios. Para establecer dicho límite plástico, se vuelve a utilizar la primera muestra húmeda, moldeando pequeñas formas elipsoidales que se pesan. Estas formas se colocan en el horno y se pesan una vez secas.

Imagen N°23: Índice de Plasticidad



Fuente: Desarrollo propio

11. Azul de metileno

En este ensayo vamos a utilizar una muestra de 5 gramos de agregado fino tamizado con la malla N°200. A continuación, el material se introduce en un vaso de precipitados con la solución de azul de metileno disuelta en H₂O destilada. Se adiciona dicha solución en incrementos de 1 ml mientras se agita constantemente, hasta que se forme un halo de color azul cian. Finalmente, la mezcla se vierte sobre papel para que realice el filtro, para así poder observar el comportamiento de la gota.

Imagen N°24: Azul de metileno



Fuente: Desarrollo propio

Preparación de las muestras:

Se sigue el procedimiento antes ya descrito de la norma MTC E 504 [18].

1. Diseño de mezcla

Con base en la granulometría establecida, se procede a elaborar el diseño de dichas mezclas, tanto para la muestra de referencia como para los diferentes porcentajes modificados. En el caso de la muestra de referencia, se determinó una composición de 40% de grava, 59% de arena y 1% de filler, para una briqueta de 1500 gramos, aplicando diferentes porcentajes de cemento asfáltico 60/70 en cada variación.

2. Medición del peso de los agregados

Se realiza el pesaje previamente calculado de los agregados finos, gruesos y del filler para cada una de las briquetas. El proceso se inicia con el pesaje de los agregados correspondientes a la briqueta estándar, la cual contiene un 4% de cemento asfáltico, como se ilustra en la imagen 25.

Imagen N°25: Medición del peso de los agregados



Fuente: Desarrollo propio

Después de pesar los agregados, se colocan en una bolsa etiquetada con el tipo y la clasificación correspondiente, como se evidencia en la imagen 26 para luego ser almacenados y estar listos cuando se inicie el proceso de cocción o cocinado.

Imagen N°26: Agregados en bolsa etiquetada para la mezcla

Fuente: Desarrollo propio

3. Cocción o cocinado de briquetas

Para comenzar la preparación de las briquetas, es esencial tener en cuenta estos tres aspectos fundamentales:

- 3.1. El cemento asfáltico debe ser transferido desde el balde en el que se almacena a un recipiente de metal, ya que se necesita calentar una porción en una hornilla para convertirlo en un estado líquido y fácil de manipular.

Imagen N°27: Balde de C.A.

Fuente: Desarrollo propio

- 3.2. Los materiales como los agregados que se han guardado en bolsas deben estar previamente calentados. Para esto, se vacían en una tara y se colocan en el horno o en la cocina para asegurar que alcancen la temperatura adecuada.

Imagen N°28: Agregados previamente calentados

Fuente: Desarrollo propio

3.3. Es necesario contar con trozos de papel que se ajusten al tamaño de la base de los moldes, los cuales se emplearán para facilitar el proceso de compactación de las briquetas.

Imagen N°29: Trozos de papel para moldes

Fuente: Desarrollo propio

3.4. Es necesario el calentado del cemento asfáltico para que este líquido y así adicional al agregado para mezclar.

Imagen N°30: Calentado del cemento asfáltico

Fuente: Desarrollo propio

Una vez listo los 4 aspectos anteriores se vierten los agregados destinados a las briquetas en una tara, asegurando que tengan las mismas características y composición. Junto con ellos, se añade el cemento asfáltico, ya en estado líquido tras haber sido calentado en la hornilla y previamente pesado. A continuación, se mezcla vigorosamente mientras los componentes están aún calientes. Una vez que la mezcla comience a enfriarse un poco, es importante volver a calentarla y seguir mezclando para garantizar que tanto los agregados como el filler queden completamente cubiertos y uniformemente impregnados con el cemento asfáltico. Este paso asegura una adecuada cohesión de los materiales como se evidencia en la imagen 31.

Imagen N°31: Mezcla de briqueta (Arena, piedra, CA, filler)

Fuente: Desarrollo propio

4. Llenado y compactación de briquetas

El proceso de compactación de las briquetas no solo implica aplicar presión controlada para darle forma y densidad uniforme, sino que también sigue un procedimiento específico para asegurar que todos los componentes queden correctamente integrados. Una vez que la mezcla está bien uniforme, se utiliza la base y el molde para comenzar la compactación. Primero, se coloca uno de los círculos de papel previamente cortados en la base del molde. A continuación, se vacía la mezcla caliente hasta que alcance aproximadamente dos tercios de la altura total del molde. Usando un cuchillo, se dan 15 golpes en el perímetro y 10 en el centro para mejorar la distribución del material. A continuación, se coloca la parte superior del molde. Posteriormente, se coloca la parte superior del molde, añadiendo más mezcla, la cual se compacta nuevamente con una cuchara, asegurando que la briqueta quede completamente prensada y sin espacios vacíos. Este proceso garantiza una compactación óptima y una mayor resistencia del producto final, imagen 32.

Para realizar la segunda compactación, se coloca un nuevo círculo de papel sobre la mezcla previamente compactada. Luego, la briqueta se lleva al equipo de compactación, donde se aplican los golpes ya con el martillo compactador necesarios según el tipo de tráfico especificado. En este caso, al tratarse de un tráfico pesado, se ejecutaron 75 golpes por cada lado de la briqueta. Este proceso asegura una densificación homogénea y refuerza la estructura, preparándola para resistir las condiciones de tráfico previstas. Además, es fundamental verificar que la presión y el número de golpes sean consistentes para garantizar la calidad y durabilidad de las briquetas.

Imagen N°32: Llenado de la mezcla en los moldes



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°33: Compactación de briquetas con el martillo compactador

Fuente: Desarrollo propio

5. Desmoldeado y colocado de nombre para briqueta

Luego de compactar ambos lados de una briqueta, se coloca dicha muestra sobre una superficie que este nivelada y limpia para que se enfríe de manera uniforme. Cuando alcanza la temperatura ambiente, se procede a desmoldar utilizando el equipo adecuado para no dañar la briqueta, asegurando que mantenga sus características estructurales. Posteriormente, se le coloca una etiqueta adhesiva en una de las caras de la briqueta, especificando su nombre y las propiedades del material, lo que facilita su identificación y localización durante el almacenamiento y posterior análisis, evitando confusiones y permitiendo el seguimiento adecuado del proceso.

Imagen N°34: Desoldador de briquetas



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°35: Etiqueta adhesiva para cada briqueta



Fuente: Desarrollo propio

6. Parámetros volumétricos

Se mide el diámetro y la altura de cada briqueta en ambas caras para obtener un promedio de los datos, este procedimiento garantiza una mayor precisión en las mediciones, permitiendo una evaluación más confiable de las dimensiones volumétricas de las briquetas, posteriormente, se determina el peso de la briqueta en cuestión, y así continuamente el proceso se repite con todas las muestras.

De esta manera, recopilamos los datos necesarios para analizar las propiedades físicas y volumétricas de cada briqueta, lo que es fundamental para evaluar su calidad y desempeño en aplicaciones específicas.

Imagen N°36: Diámetro, altura y peso de briqueta



Fuente: Desarrollo propio

7. Ensayo Densidad Bulk

Para realizar este tipo de ensayo, se necesita tener su peso seco de dicha muestra antes de comenzar. A continuación, se coloca la balanza sobre un estante ubicado sobre un lavabo lo suficientemente hondo para permitir la inclusión de un balde lleno de agua. Se ajusta una canastilla en la balanza y se establece el peso en cero, creando así un punto de referencia para las mediciones siguientes. Luego, con la balanza ajustada a cero, se introduce la briqueta en la canastilla y se deja reposar durante aproximadamente 5 minutos para que el agua se calme y el peso se estabilice. Una vez que el peso se ha estabilizado, se registra la medición. Este proceso es vital para obtener información precisa sobre la densidad aparente de la briqueta, lo que permite una evaluación adecuada de sus características, luego se procede a extraer la briqueta y se secaría en una superficie plana para volver a pesarlo.

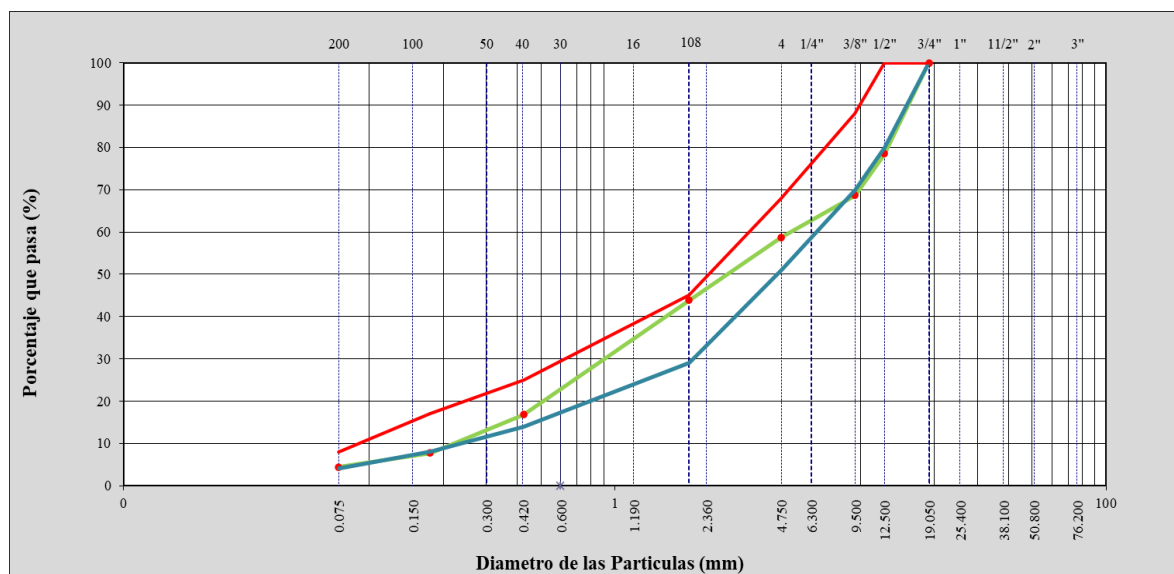
Imagen N°37: Sumergimiento y pesaje de briqueta



Fuente: Desarrollo propio

Siguiendo los procedimientos de la metodología Marshall, se diseñó sus combinaciones de agregados utilizada en el M.A.C de referencia. Además, se realizaron pruebas con cuatro mezclas distintas, en las que se empleó ceniza de mazorca de maíz como un sustituto parcial del relleno mineral (filler), en proporciones del 25%, 50%, 75% y 100%. Estas combinaciones, que cumplen con los parámetros MAC-2, están detalladamente representadas en la imagen 38.

Imagen N°38: Curva granulométrica promedio de la muestra patrón y con adiciones de ceniza de mazorca de maíz



Fuente: Desarrollo propio

C. Caracterización del cemento asfáltico utilizado

Uno de sus pasos fundamentales es la evaluación del cemento asfáltico, ya que debe ajustarse a las condiciones geográficas específicas de la zona donde se aplicará la mezcla. En este contexto, se analizaron las propiedades y caracterizaciones empíricas de los C.A. asegurando su cumplimiento con las especificaciones establecidas por las NTP. Para este proyecto, se eligió el cemento asfáltico PEN 60/70, mientras que los agregados fueron extraídos de la cantera Tres Tomas, situada en el distrito de Manuel Antonio Mesones Muro - Ferreñafe, Lambayeque, a una altitud que corresponde a los 27 m.s.n.m. El diseño de dicha mezcla asfáltica de referencia consideró cinco porcentajes de ligante: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, el realizado los ensayos se determinó que contenido óptimo de asfalto era el 5.3% del peso total de la mezcla. Como se representa en la tabla 33.

Tabla 33: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico PEN 60/70

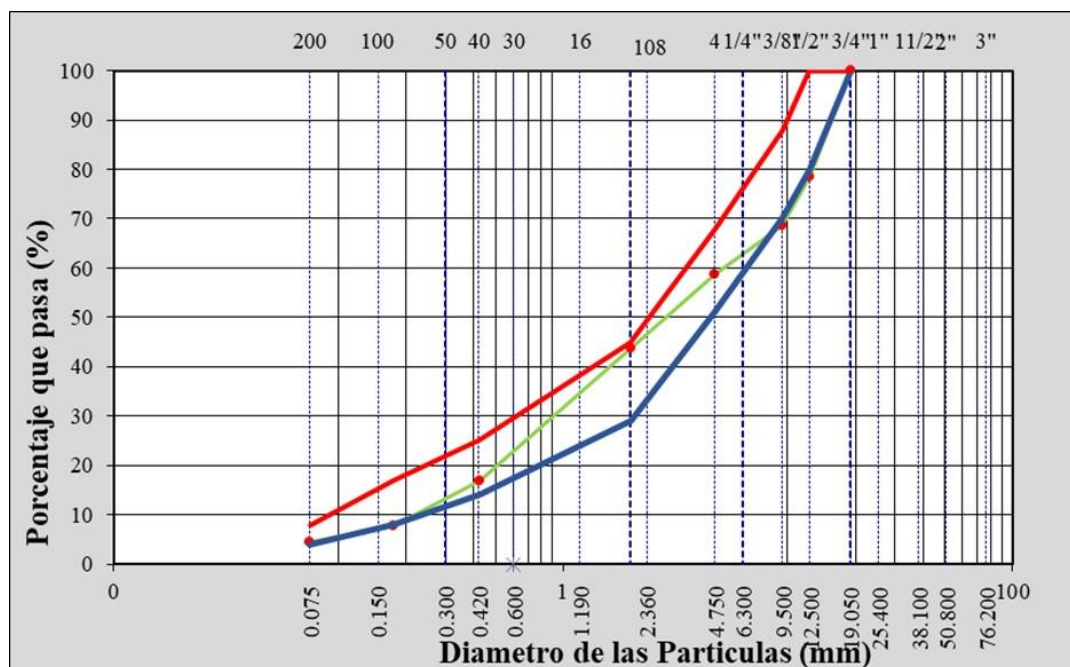
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ				
CLASE DE PRODUCTO			Fecha efectiva:	
ASFALTO SÓLIDO			Febrero 2024	
TIPO DE PRODUCTO			Reemplaza edición de:	
CEMENTO ASFÁLTICO			Enero 2019	
NOMBRE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN				
PROPIEDADES	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO DE ENSAYO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN, a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49
VOLATILIDAD				
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD en tricloroetileno, % masa	99.0		D-2042	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0.8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar		D-2170	T-201
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
Punto de ablandamiento, °C	46		D-36	T-53
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				

Fuente: PETROPERÚ

D. Diseño de la metodología Marshall en el diseño de la mezcla asfáltica de referencia (patrón y con adición)

Una vez caracterizados dichos agregados y seleccionado el C.A. adecuado, se procedió al diseño de las mezclas asfálticas de referencia con el objetivo de establecer el contenido óptimo de cemento asfáltico. Este diseño se aplicaría en las briquetas con y sin adición de ceniza. Se aplicaron cinco proporciones diferentes de ligante asfáltico, basadas en el peso total de la muestra: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%. Las probetas de Marshall se prepararon siguiendo las especificaciones de la norma MTC E504. Para la compactación se empleó el compactador Marshall, ajustando el número de golpes a las exigencias del tráfico pesado, con un total de 75 golpes. Se obtuvieron briquetas con un diseño destacado, cuyo contenido óptimo de asfalto fue del 5.3%, como se muestra en la imagen 39. Estas combinaciones, que cumplen con el parámetro MAC-2, se detallan en la imagen 40 y fueron aprobadas al cumplir con todos los parámetros normativos requeridos.

Imagen N°39: Curva granulométrica promedio para determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico.



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°40: Briquetas del diseño de muestra patrón para hallar el óptimo contenido de cemento asfáltico en diferentes porcentajes



Fuente: Desarrollo propio

Es esencial establecer el peso específico máximo mediante raíce, que en este análisis específico alcanzo 2.796 g/cm^3 . Para evaluar su estabilidad y la fluidez de dicha mezcla, se llevaron a cabo pruebas Marshall conforme a la normativa MTC E504. Donde por consiguiente se presenta un resumen detallado de los resultados obtenidos en la mezcla asfáltica de referencia, que se encuentra en la Tabla 34. Además, se procedió a ensayar tanto la estabilidad como el flujo de los especímenes Marshall, como se muestra en la imagen 42.

Imagen N°41: Preparación de briquetas para el peso específico máximo Raice



Fuente: Desarrollo propio

Tabla 34: Resumen detallado de resultados obtenidos para la mezcla asfáltica patrón

RESULTADOS OBTENIDOS	
Golpes por cada cara	75
Optimo Contenido C. A	5.3
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.5
Vacios (%)	4.80
Vacios del Agregado mineral (%)	14.50
Vacios Llenados de C.A (%)	72.00
Flujo (mm)	8.26
Estabilidad (Kg)	3620
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°42: Flujo y estabilidad Marshall

Fuente: Desarrollo propio

De manera similar, se fabricaron ocho briquetas para cada porcentaje, con y sin la adición de ceniza, en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100%, basándose en el peso de los agregados. Esto permitió establecer un porcentaje óptimo del 5.3% del peso total de la briqueta, de manera similar al diseño del MAC de referencia. Como se presenta, en la Figura 43, se presentan las briquetas con las diferentes proporciones de ceniza.

Imagen N°43: Total de briquetas con y sin adición

Fuente: Desarrollo propio

Es fundamental establecer el peso específico máximo Rice. Para dichas mezclas sin adición, el valor es de 2.246 gr/cm³; para las mezclas con un 25% de adición, es de 2.600 gr/cm³; con un 50% de adición, es de 2.333 gr/cm³; con un 75% de adición, es de 2.463 gr/cm³; y con un 100% de adición, es de 2.564 gr/cm³. Posteriormente, se realizan los ensayos de flujo y estabilidad en las muestras Marshall, tal como se presenta en la Figura 44. **Imagen N°44: Flujo y estabilidad Marshall**



Fuente: Desarrollo propio

E. Determinación de la mezcla asfáltica frente a daños inducidos por humedad. En este ensayo se trabajará con dos conjuntos de briquetas:

- a. El primer conjunto, conocido como grupo seco, será sometido a la prueba TSR. Estas briquetas se acondicionarán en un baño de H₂O a de 25°C durante dos horas, tal como se puede observar en la imagen 45.

Imagen N°45: Briquetas a 25 °C

Fuente: Desarrollo propio

b. El segundo conjunto seguirá el siguiente procedimiento:

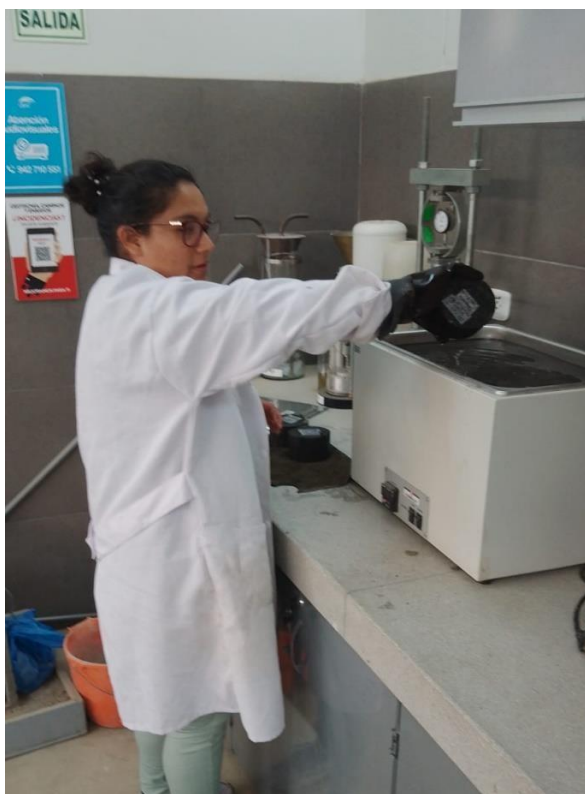
- Primero, las briquetas se saturarán en un recipiente repleto de agua, utilizando un proceso de vacío para garantizar su completa inmersión.
- Posteriormente, serán almacenadas a -18°C durante 16 horas.

Imagen N°46: Briquetas a -18°C 

Fuente: Desarrollo propio

- Al completar este proceso, las muestras se sumergen en un baño de H_2O a una temperatura de 60°C durante 24 horas.

Imagen N°47: Briquetas a 60°C



Fuente: Desarrollo propio

- A continuación, se colocan en un baño de H₂O a 25°C por un tiempo determinado de 2 horas antes de someterlas a ensayos de TSR, como se puede observar en la figura 49.

Imagen N°48: Briquetas a 25°C



Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°49: Ensayo de tracción indirecta

Fuente: Desarrollo propio

F. Evaluación de la resistencia de las mezclas asfálticas frente a la pérdida por desgaste.

El procedimiento para el ensayo de desgaste cántabro es el siguiente: las briquetas que contienen los porcentajes óptimos, obtenidos en los ensayos de Marshall y de tracción indirecta, se colocan en la máquina de Los Ángeles, sin utilizar bolsas, y se hacen girar durante 300 revoluciones, de acuerdo con lo indicado en la norma.

Imagen N°50: Muestras en máquina de Los Ángeles

Fuente: Desarrollo propio

Después de completar la prueba, se procede a pesar muestra y se compara el peso inicial con el final, tras haber pasado por el proceso de abrasión en la máquina de Los Ángeles. Esta

comparación permite calcular la pérdida de masa, lo que facilita una medida de la resistencia de la muestra al desgaste. Un porcentaje elevado de pérdida de masa indicaría una menor resistencia a la abrasión, mientras que un porcentaje bajo señalaría una mayor durabilidad del material evaluado.

Imagen N°51: Pesaje de briqueta después de 300 vueltas



Fuente: Desarrollo propio

Resultados y discusión

Resultados

A. Resultado de la caracterización química de la ceniza de mazorca de maíz

Se enviaron muestras a un laboratorio externo para realizar un análisis detallado, y se obtuvieron las siguientes propiedades químicas empleando el método de espectrometría de fluorescencia de rayos X:

Tabla 35: Composición química de la ceniza de mazorca de maíz

COMPOSICIÓN QUIMICA	RESULTADO (%)
DIOXIDO DE SILICIO (SiO ₂)	58.54
OXIDO DE CALCIO (Ca O)	12.86
TRIOXIDO DE ALUMINIO (AL ₂ O ₃)	9.77
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃)	3.18
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	6.21
OXIDO DE TITANIO (Ti O)	1.44
OXIDO DE ESTRONCIO (Sr O)	1.89
OXIDO DE COBRE (Cu O)	0.37
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	<0.01
OXIDO DE ZINC (Zn O)	0.013
OXIDO DE MANGANESO (Mn O)	<0.01
PÉRDIDA AL FUEGO	5.707

Fuente: Laboratorio físico químico ambiental Perú S.A.C.

El resultado de la prueba mostró que el porcentaje total de dióxido de silicio (SiO₂), trióxido de aluminio (Al₂O₃) y trióxido de hierro (Fe₂O₃) fue del 71.49%, lo que supera el 70%, demostrando que la ceniza de mazorca de maíz es un material puzolánico de buena calidad, catalogado como clase N.

B. Ensayo de agregados

a. Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Dicho ensayo, según la norma MTC E 209, es clave para evaluar cómo los materiales, como la arena y la piedra, resisten la acción corrosiva de los sulfatos. Este ensayo mide el desgaste de los materiales cuando se exponen a una solución de sulfato de magnesio, simulando condiciones ambientales que pueden causar deterioro en aplicaciones de construcción.

En este análisis, los resultados revelaron que la arena sufrió un desgaste total del 7.6%, mientras que la piedra presentó un desgaste del 16.3%. De acuerdo con lo estipulado en la norma MTC E 209, el valor límite de desgaste permitido es del 18%. Por lo tanto, ambos materiales se hallan dentro de los márgenes determinados por la norma. La arena, con un desgaste del 7.6%, muestra una notable durabilidad y resistencia a la degradación química, lo que la convierte en una opción favorable en comparación con la piedra, la cual, a pesar de tener un desgaste mayor (16.3%), sigue estando por debajo del límite permitido.

Estos resultados son esenciales para elegir correctamente los materiales en la construcción, especialmente en áreas donde los niveles de sulfatos en el suelo o en las aguas subterráneas. Elegir materiales que se desgasten menos no solo asegura una mayor durabilidad de las estructuras, sino que también disminuye la necesidad de mantenimiento o reemplazo debido a la degradación.

Tabla 36: Resultados de durabilidad del agregado fino (sulfato de magnesio)

Tamaño de los tamices		Gradación original (peso)	Gradación de la muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret.después del ensayo	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa	Retiene						
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	142.6	15.5	100	95.6	4.4	0.7
Nº 4 4.75 mm	Nº 8 2.36 mm	115.6	12.5	100	92.1	7.9	1.0
Nº 8 2.36 mm	Nº 16 1.18 mm	120.6	13.1	100	93.2	6.8	0.9
Nº 16 1.18 mm	Nº 30 600 µm	117.6	12.7	100	93.4	6.6	0.8
Nº 30 600 µm	Nº 50 300 µm	126.9	13.8	100	89.6	10.4	1.4
Nº 50 300 µm	Nº 100 150 µm	168.9	18.3	100	92.3	7.7	1.4
Nº 100 150 µm		130.5	14.1	100	90.2	9.8	1.4
Totales		922.7	100.0	700	646.4		7.6

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 37: Resultados de durabilidad del agregado grueso (sulfato de magnesio)

Tamaño de los tamices		Gradación original (peso)	Gradación de la muestra original	Peso de las fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Nº de Partículas	Peso Ret. después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida corregida (%)	Nº de partículas
Pasa	Retiene								
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	320.0	54.0	153.8	23.0	125.5	18.4	9.9	16.0
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	158.9	26.8	68.9	23.0	60.6	12.0	3.2	14.0
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	113.5	19.2	60.5	23.0	50.5	16.5	3.2	
Totales		592.4	100.0	283.2		236.6		16.3	

Fuente: Desarrollo propio

b. Ensayo de abrasión los ángeles

La prueba de abrasión de Los Ángeles es un ensayo estándar que evalúa la capacidad de los agregados para resistir el desgaste. Dicho proceso consiste en meter una muestra de agregado en un tambor rotatorio, junto con esferas de acero, y luego girar el tambor un número específico de veces, simulando el desgaste natural. El resultado de este ensayo se presenta como un porcentaje de pérdida de masa o desgaste del agregado.

En tu caso, el porcentaje de abrasión obtenido es del 16.54%. Este resultado indica que después de someterse a la prueba, los agregados perdieron el 16.54% de su masa original debido a la abrasión. Un valor de 16.54% generalmente señala que los agregados tienen una buena resistencia al desgaste, haciendo que sean adecuados para su uso en aplicaciones estructurales donde la resistencia al desgaste es importante, como en mezclas asfálticas o en capas de base de carreteras. Este valor es considerado como indicativo de un material de buena calidad, especialmente en contextos donde se espera que el material resista a condiciones de tráfico pesado y abrasión constante.

Tabla 38: Resultado del ensayo de abrasión

Resultados del ensayo de abrasión	
- Peso inicial antes del ensayo	5000
- Peso final después de las 200 revoluciones	4652
- Peso final después de las 500 revoluciones	4173
CÁLCULOS	
- % de desgaste por abrasión	16.54
- % de uniformidad	0.42

Fuente: Desarrollo propio

c. Partículas chatas y alargadas

El ensayo de partículas chatas y alargadas determina la proporción de agregados con formas no ideales en una muestra. Se clasifican como chatas o alargadas aquellas partículas cuya longitud es considerablemente mayor que su grosor. Esta prueba es crucial porque la forma de los agregados afecta la manejabilidad y la compactibilidad del asfalto.

El resultado obtenido fue de 9.8% indica que un porcentaje ligeramente menor al límite máximo aceptable del 10% de los agregados ya que la muestra son chatos o alargados. Este resultado, al estar tan cerca del límite, permitidos, es fundamental mantener un control estricto sobre la calidad de los agregados para asegurar la integridad estructural y la durabilidad en las mezclas de concreto o asfalto.

Tabla 39: Resultados de partículas chatas y alargadas

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	500.00	56.82	43.18	15	1.70		4	0.45	
3/8"	9.50	200.00	22.73	20.45	18	2.05		25	2.84	
1/4"	6.30	180.00	20.45	0.00	10	1.14		14.3	1.63	
TOTAL					43	4.89		43.3	4.92	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA					(g)	880.0	ESPECIFICACIÓN 10% Max.			
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS					(%)	9.8				

Fuente: Desarrollo propio

d. Caras fracturadas

El análisis de este ensayo de caras fracturadas reveló que el 52.9% de los agregados presentó una 1 cara fracturada, mientras que el 33.7% mostró 2 caras fracturadas. A pesar de que estos valores están por debajo del rango recomendado de 85/50, siguen cumpliendo con los criterios esenciales para garantizar una adecuada adhesión y durabilidad en las mezclas asfálticas.

Tabla 40: Caras fracturadas con una cara

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						
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	290.0	58.0 %	500.0 %	290.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	200.0	80.0	40.0 %	200.0 %	80.0 %
TOTAL		57800.0 g.	700.0 g.	370.0 g.		700.0 %	370.0 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 52.9%

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 41: Caras fracturadas con dos caras

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						
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	139.0	27.8 %	500.0 %	139.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	200.0	97.0	48.5 %	200.0 %	97.0 %
TOTAL		57800.0 g.	700.0 g.	236.0 g.		700.0 %	236.0 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 33.7%

Fuente: Desarrollo propio

e. Sales solubles totales

En el proceso de producción de MAC, el análisis de sales solubles es fundamental para medir la calidad de materiales como la arena y la piedra, determinando la cantidad de sales que se disuelven en el agua. La presencia de estas sales puede influir en las propiedades tanto adhesivas como adherentes del asfalto y comprometer la durabilidad del pavimento.

En dichos resultados conseguidos en el presente ensayo muestran que la arena contiene 0.39% de sales solubles y la piedra 0.30%. Según el manual de carreteras, el límite máximo permitido es del 0.5%. Ambos materiales, por lo tanto, se encuentran dentro de este límite aceptable, lo que indica que la cantidad de sales solubles no debería afectar negativamente la performance del asfalto ni la vida útil del pavimento.

Tabla 42: Sales solubles totales (Agregado grueso)

Resultados de ensayo de sales solubles totales			
0.1	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00
0.2	Número de beaker		1
0.3	Peso de beaker	g.	32.31
0.4	Peso de beaker + residuo de sales	g.	53.64
0.5	Peso de residuo de sales	$(4)-(3)$ g.	21.33
0.6	Volumen de la solución tomada	ml	50
0.7	Constituyentes de sales solubles totales	$[(5) \times (1000000)] / (6) \times (1)$ ppm	3900
0.8	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	$(7) / 10000$ (%)	0.39
PROMEDIO (ppm)			3450
PROMEDIO (%)			0.34

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3000
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.30

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 43: Sales solubles totales (Agregado fino)

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3900
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.39

Fuente: Desarrollo propio

f. Absorción

La prueba o ensayo de absorción conforme a la norma MTC E 206 es clave para determinar la cantidad de H₂O que los materiales de construcción, como la piedra y la arena, son capaces de absorber en condiciones específicas. Este indicador refleja la porosidad del material, lo que puede afectar tanto la resistencia como la durabilidad de los agregados empleados en las construcciones.

En este estudio, los resultados mostraron una absorción de 0.45% para la arena y de 50% para la piedra. Según el MTC E 206, los valores máximos permitidos de absorción de agua son de 0.5% para la arena y de 1.0% para la piedra. Ambos materiales cumplen con los límites establecidos, lo que indica una buena resistencia a la absorción de H₂O. El valor de absorción de la arena, que es de 0.45%, se encuentra cerca del límite máximo y sugiere una baja porosidad, siendo adecuada para situaciones donde la resistencia al agua y la durabilidad son esenciales. Por otro lado, el valor de absorción de la piedra es considerablemente menor que el límite máximo, lo que demuestra una excelente capacidad de resistencia al agua y un bajo nivel de porosidad, aspectos beneficiosos para su uso en estructuras que requieran alta durabilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas. Estos resultados aseguran que tanto la arena como la piedra son adecuados para su uso en proyectos de construcción, cumpliendo con las especificaciones normativas para minimizar problemas relacionados con la absorción de agua y la degradación por humedad.

Tabla 44: Absorción (Agregado grueso)

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm³)	2.640
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm³)	2.653
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm³)	2.675
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.50

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 45: Absorción (Agregado fino)

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.198
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.208
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.220
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.45

Fuente: Desarrollo propio

g. Contenido de humedad

Esta investigación analizó dos tipos de agregados extraídos de la cantera Tres Tomas, localizada en Ferreñafe: arena zarandeada y piedra triturada. El propósito de estos ensayos fue medir el contenido de humedad en cada material, ya que esta característica perjudica de manera importante la adherencia y el rendimiento mecánico de las mezclas de asfalto.

a. Resultados del contenido de humedad de la arena zarandeada

El análisis de la arena zarandeada muestra un contenido promedio de humedad del 0.76%. Este valor, que es relativamente bajo, indica que el material no contiene un alto porcentaje de agua en su composición. La baja humedad de la arena la hace adecuada para su aplicación en mezclas asfálticas, ya que minimiza posibles inconvenientes de compactación y asegura una mejor adhesión entre los elementos de la mezcla.

Tabla 46: Resultado de contenido de humedad (Agregado fino)

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1620.53	1620.53
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1608.31	1608.31
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.76	0.76
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.76	

Fuente: Desarrollo propio

b. Resultados del contenido de humedad de la piedra chancada

Por otro lado, la muestra de piedra chancada presentó un contenido de humedad promedio del 0.54%. Este resultado confirma que la piedra chancada también posee un bajo porcentaje de agua, similar a la arena zarandeada. Un menor contenido de humedad en este tipo de agregado

contribuye a una mejor estabilidad volumétrica de la mezcla asfáltica, reduciendo el riesgo de deformaciones plásticas durante su aplicación y uso.

Tabla 47: Resultado de contenido de humedad (Agregado grueso)

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1539.3	1539.3
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1531	1531
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.54	0.54
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.54	

Fuente: Desarrollo propio

h. Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena arrojó un resultado del 46%, situándose por debajo del límite máximo del 60% definido por la norma MTC E 114. Este resultado sugiere que la muestra presenta una cantidad adecuada de partículas finas en comparación con las fracciones arenosas, cumpliendo con las especificaciones normativas. Este nivel de equivalente de arena asegura que el material es adecuado para su uso en proyectos de construcción, proporcionando la calidad necesaria para garantizar la estabilidad y la durabilidad estructural.

Tabla 48: Resultado de equivalente de arena

DESCRIPCION	C - 1		
	1	2	3
MUESTRA N.º	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N.º 4	N.º 4	N.º 4
HORA DE ENTRADA	5.01	5.05	5.10
HORA DE SALIDA	5.51	5.55	5.60
HORA DE ENTRADA	5.15	5.20	5.25
HORA DE SALIDA	5.35	5.40	5.45
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	9.30	8.30	10.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.20	4.00	4.60
EQUIVALENTE DE ARENA	45.2 %	48.2 %	43.8 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	46 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Min : 60 % Máximo			

Fuente: Desarrollo propio

i. Azul de metileno

El ensayo azul de metileno, según la AASHTO TP 57, se emplea para identificar la cantidad de arcillas y finos presentes en los agregados, los cuales pueden impactar la adherencia del asfalto y la calidad global de las MAC. Este procedimiento mide la capacidad de los finos para adsorber una solución de azul de metileno, proporcionando un indicador claro de la existencia de partículas que podrían generar problemas en los agregados.

El resultado del ensayo fue de 1%, significativamente menos del límite máximo de 8% determinado por la norma. Este bajo resultado sugiere que la muestra contiene muy pocas arcillas y finos reactivos, lo cual es positivo, ya que un valor bajo en este ensayo indica que los agregados están limpios y es menos probable que afecten negativamente la calidad del asfalto y la durabilidad de la mezcla.

Tabla 49: Resultado de ensayo de azul de metileno

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
	Cada	NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	1	-	8
		7.0	5.0	1		
		RESULTADOS PROMEDIOS :	1			

Fuente: Desarrollo propio

g. Índice de plasticidad (malla N° 40-200)

Este ensayo se rige por la MTC E 111, es clave para evaluar la plasticidad en los materiales que atraviesan distintas mallas de tamizado, como las mallas N°40 y N°200. Este índice refleja la capacidad del material para deformarse sin fracturarse, lo que evidencia la presencia de arcillas u otros componentes similares que podrían influir en la estabilidad del suelo o en las mezclas asfálticas.

En este caso, los resultados del ensayo revelan que el material o proporción que pasa por la malla N°40 no tiene plasticidad, cumpliendo así con la norma MTC E 111 que establece que los materiales que atraviesan dicha malla no deberían presentar plasticidad. Por otro lado, la proporción que pasa por la malla N°200 presenta un índice de plasticidad del 3.89%, valor que también se encuentra dentro del límite normativo, que es un máximo del 4%.

Estos resultados son importantes, ya que confirman que el material o proporción es adecuado para su aplicación en la construcción, cumpliendo con las normativas establecidas. La ausencia de plasticidad en los materiales que pasan por la malla N°40 garantiza que no hay una cantidad excesiva de partículas arcillosas o finas que podrían comprometer la calidad del material. Mientras tanto, el bajo índice de plasticidad en el material que atraviesa la malla N°200 indica una presencia mínima de partículas plásticas, manteniéndose justo por debajo del límite máximo permitido.

Tabla 50: Resultado del ensayo de índice de plasticidad (malla N° 40)

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

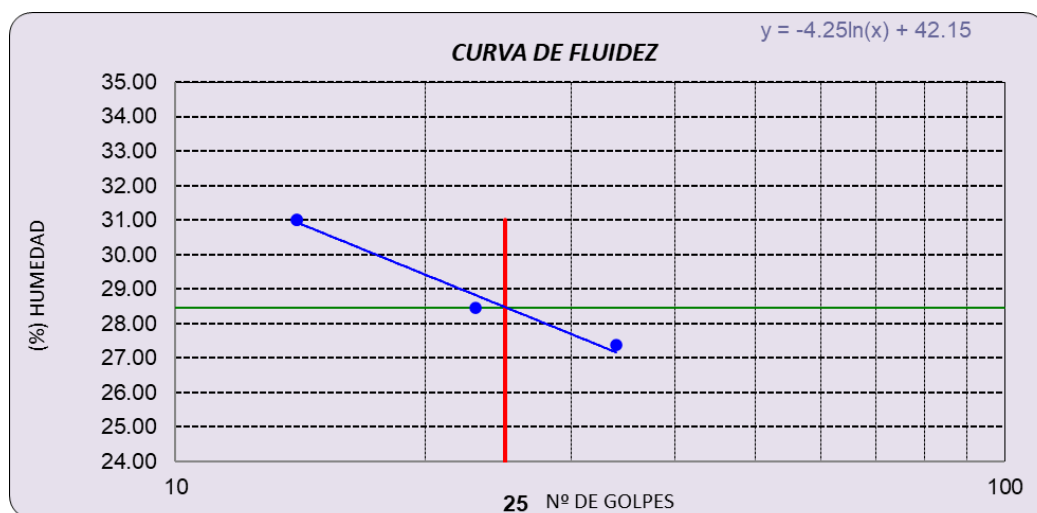
Fuente: Desarrollo propio

Tabla 51: Resultado del ensayo de índice de plasticidad (malla N° 200)

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	28.47
Límite Plástico	24.58
Índice de Plasticidad	3.89

Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°52: Curva de fluidez



Fuente: Desarrollo propio

Granulometría de la ceniza de mazorca de maíz

Dicho estudio granulométrico de la ceniza de mazorca de maíz evidencia que el 95.9% del material atraviesa el tamiz N° 200, lo que muestra una gran presencia de partículas finas, concentradas principalmente en el rango de arcillas y limos. Esto sugiere que la ceniza es adecuada como filler en mezclas asfálticas, mejorando la cohesión interna. La curva granulométrica revela la presencia de finos, los cuales pueden impactar la densidad y la estabilidad de mezcla asfáltica.

Por otro lado, el contenido de humedad de la ceniza es del 33.6%, lo que es relativamente alto y podría influir en lo que sería, estabilidad volumétrica de la mezcla asfáltica si no se controla adecuadamente. Esto subraya la importancia de un secado previo de la ceniza para evitar posibles alteraciones en lo que vendría a ser el comportamiento mecánico de la mezcla. Por ende, en general, los resultados sugieren que la ceniza de mazorca de maíz tiene un alto potencial como material de adición, siempre que se consideren adecuadamente sus características granulométricas y de humedad durante todo el proceso de diseño y producción de la mezcla asfáltica.

Tabla 52: Granulometría de la ceniza de mazorca de maíz

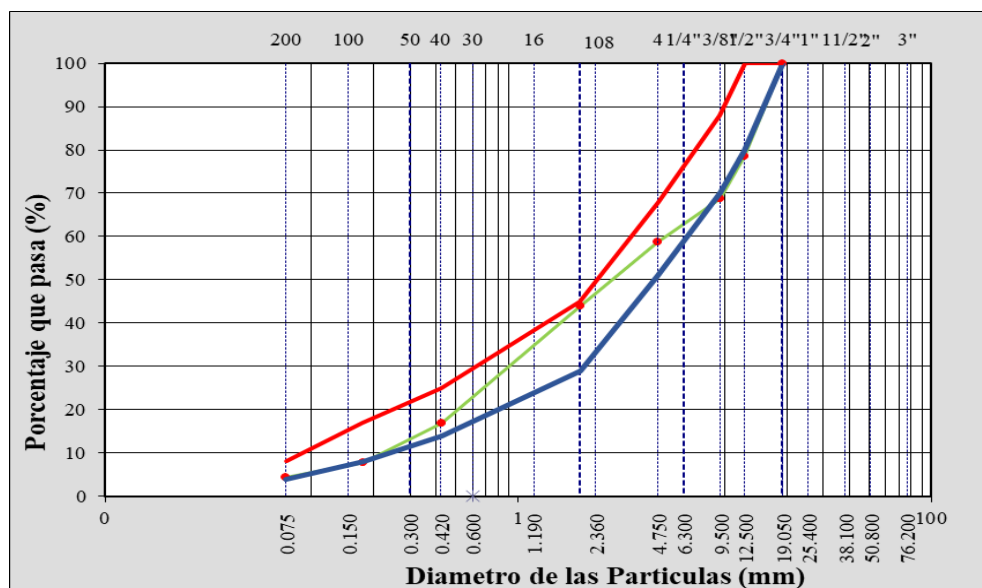
Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		% Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
Nª 4	4.750	0.0	100.0
Nª 10	2.000	0.1	99.9
Nª 20	0.850	0.1	99.9
Nº 40	0.425	0.6	99.4
Nº 50	0.300	1.3	98.7
Nª 100	0.150	3.8	96.2
Nº 200	0.075	6.1	93.9
% Arcilla y Limo		93.9	93.9
Total			100.0
Contenido de Humedad			33.6

Fuente: Desarrollo propio

Tabla 53: Resultados de la combinación de agregados para la dosificación de diseño

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0			100.0	80	100
1/2"	12.500	562	21.5	21.5	78.5	67	85
3/8"	9.500	255	9.8	31.3	68.7	60	77
N° 4	4.750	259	9.9	41.2	58.8	43	54
N° 10	2.000	392.0	14.9	56.1	43.9	29	45
N° 40	0.425	710.0	27.0	83.1	16.9	14	25
N° 80	0.177	241.0	9.2	92.3	7.7	8	17
N° 200	0.075	85.0	3.2	95.5	4.5	4	8
< N° 200	FONDO	117.0	4.5	100.0			

Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°54: Granulometría de la combinación de agregados para la dosificación

Fuente: Desarrollo propio

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y luego de confirmar que se hallan dentro de los límites establecidos por los parámetros, se definió la siguiente formulación de trabajo:

Tabla 54: Proporción de diseño para el obtener el óptimo contenido de asfalto

PROPORCIÓN DE MATERIALES					
Cantidad de cemento asfáltico	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
Cantidad de agregado grueso	40%	40%	40%	40%	40%
Porcentaje de agregado fino	59%	59%	59%	59%	59%
Cantidad de filler mineral	1%	1%	1%	1%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Desarrollo propio

D. Ensayo marshall

Una vez determinado nuestro contenido óptimo de C.A, se realizaron MAC, incorporando ceniza de mazorca de maíz en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% en relación lo que sería el peso del cemento asfáltico, además de una mezcla base (0%) que no contenía ceniza.

a. Mezcla asfáltica para hallar el óptimo contenido de asfalto

El contenido óptimo de C.A, tanto para la mezcla convencional (patrón) como para la mezcla modificada con ceniza de mazorca de maíz como reemplazo del filler mineral, se presenta a continuación, como parte de la evaluación para determinar sus propiedades mecánicas y la durabilidad del diseño:

Tabla 55: Resultados del cemento asfáltico control

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Óptimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.50
Porcentaje de vacíos (%)	4.80
Vacíos del agregado mineral (%)	14.50
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	72.00
Flujo (mm)	8.26
Estabilidad (Kg)	3620.00
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

El cuadro muestra los parámetros principales de dicha mezcla evaluada, presentando el contenido más óptimo de cemento asfáltico en porcentaje 5.30%, lo cual garantiza una adecuada cohesión y resistencia. El porcentaje de vacíos (4.80%) y los vacíos del agregado mineral (14.50%) están dentro de los límites normativos, asegurando una buena compactación y estabilidad volumétrica. Los vacíos llenos de cemento asfáltico (72%) indican una correcta saturación de la mezcla. La estabilidad obtenida (3620 kg) supera el mínimo requerido para soportar tránsito pesado, mientras que el flujo (8.26 mm) refleja una adecuada capacidad de deformación. La relación polvo/asfalto (1.19) confirma que la mezcla contiene una cantidad balanceada de finos, mejorando su cohesión y resistencia. En conjunto, estos resultados demuestran que la mezcla cumple con dichos requisitos dar un buen desempeño óptimo en pavimentos con tráfico pesado.

b. Mezcla asfáltica patrón

Con el contenido más óptimo de asfalto ya calculado, se muestra a continuación la mezcla patrón.

Tabla 56: Resultados de mezcla asfáltica patrón

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Óptimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.15
Porcentaje de vacíos (%)	4.37
Vacíos del agregado mineral (%)	14.32
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	73.27
Flujo (mm)	8.51
Estabilidad (Kg)	2453.38
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

En esta mezcla, sin la incorporación de ceniza de mazorca de maíz, se evidencia que el contenido óptimo de cemento asfáltico es de 5.30%. El peso unitario resultante es de 2.15 gr/cm², mientras que el porcentaje de vacíos en la mezcla es de 4.37%. Los vacíos del agregado mineral alcanzan el 14.32%, y los vacíos llenos de cemento asfáltico representan el 73.27%. El flujo obtenido es de 8.51 mm, mientras que la estabilidad llega a 2453.38 kg, lo que refleja la capacidad de resistencia de la mezcla frente a las cargas. Finalmente, la relación polvo-asfalto es de 1.19, lo que indica un balance adecuado entre los componentes de la mezcla. Este cuadro sirve como referencia para las mezclas modificadas con ceniza, permitiendo comparar los efectos de dicha adición.

c. Mezcla asfáltica con cemento asfáltico óptimo y 0.25% de ceniza de mazorca de maíz como filler

Con el contenido óptimo de asfalto calculado y un 25% de reemplazo del filler por ceniza de mazorca de maíz, se presenta a continuación la mezcla modificada.

Tabla 57: Resultados de la mezcla asfáltica con el 25% de adición

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Optimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.45
Porcentaje de vacíos (%)	5.92
Vacíos del agregado mineral (%)	16.07
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	16.07
Flujo (mm)	8.88
Estabilidad (Kg)	2755.03
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

El uso de un 25% de ceniza como sustituto del filler aumenta notablemente la densidad de la mezcla, obteniendo un peso unitario de 2.45 gr/cm³. El porcentaje de vacíos se incrementa a 5.92%, mientras que los vacíos del agregado mineral (VAM) alcanzan un 16.07%, lo que sugiere un mayor espacio interno, facilitando la penetración y adherencia del asfalto. Los vacíos llenos de cemento asfáltico (VFA) también presentan un valor de 16.07%, lo que refleja un buen recubrimiento. La estabilidad sube a 2755.03 kg, lo que indica una mayor resistencia a las cargas pesadas. El flujo disminuye a 8.88 mm, lo que implica una mejora en la resistencia a la deformación.

d. Mezcla asfáltica con cemento asfáltico óptimo y 0.50% de ceniza de mazorca de maíz como filler

Con el contenido óptimo de asfalto ya calculado y un 50% de ceniza de mazorca de maíz utilizado como reemplazo del filler, a continuación, se presenta la mezcla correspondiente.

Tabla 58: Resultados de la mezcla asfáltica con el 50% de adición

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Óptimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.23
Porcentaje de vacíos (%)	4.44
Vacíos del agregado mineral (%)	14.31
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	69.56
Flujo (mm)	9.37
Estabilidad (Kg)	4807.60
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

En la mezcla con un 50% de ceniza de mazorca de maíz, el contenido óptimo de cemento asfáltico permanece en 5.30%. El peso unitario es de 2.23 g/cm³, lo que indica una compactación adecuada, y el porcentaje de vacíos es del 4.44%, una mejora ligera en comparación con la mezcla con 25%. Los vacíos del agregado mineral bajan a 14.31%, mientras que los vacíos llenados con cemento asfáltico son del 69.56%, lo cual supone una mejora respecto al 25%. El flujo aumenta a 9.37 mm, lo que podría sugerir una mayor flexibilidad en la mezcla. Además, la estabilidad alcanzó los 4807.60 kg, valor más alto hasta el momento, lo que implica una mayor capacidad de resistencia a las cargas. La relación polvo-asfalto se mantiene en 1.19.

e. Mezcla asfáltica con cemento asfáltico óptimo y 0.75% de ceniza de mazorca de maíz como filler

Seguidamente, se muestra la mezcla diseñada con el porcentaje óptimo de asfalto y un 75% de sustitución del filler por ceniza de mazorca de maíz.

Tabla 59: Resultados de la mezcla asfáltica con el 75% de adición

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Optimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.18
Porcentaje de vacíos (%)	6.43
Vacíos del agregado mineral (%)	18.72
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	68.26
Flujo (mm)	7.91
Estabilidad (Kg)	2349.93
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

Con una incorporación del 75% de ceniza de mazorca de maíz, el porcentaje óptimo de asfalto permanece en 5.30%. El peso unitario experimenta una ligera disminución hasta 2.18 gr/cm³, mientras que el porcentaje de vacíos se incrementa a 6.43%. Los vacíos del agregado mineral alcanzan el 18.72%, y los vacíos llenos de cemento asfáltico llegan a un 68.26%. El flujo se reduce a 7.91 mm, lo que sugiere una menor deformabilidad comparada con los porcentajes previos. La estabilidad también disminuye, llegando a 2349.93 kg, lo que refleja una pérdida de capacidad de resistencia ante las cargas. Aun así, la relación polvo-asfalto se mantiene constante en 1.19.

f. Mezcla asfáltica con cemento asfáltico óptimo y al 100% de ceniza de mazorca de maíz como filler

Con el contenido óptimo de asfalto y un 100% de reemplazo del filler por ceniza de mazorca de maíz, se detalla a continuación la mezcla evaluada.

Tabla 60: Resultados de la mezcla asfáltica con el 100% de adición

RESULTADOS	
Parámetro evaluado	Tránsito pesado
Óptimo contenido de cemento asfáltico (%)	5.30
Peso unitario (gr/cm ²)	2.22
Porcentaje de vacíos (%)	4.87
Vacíos del agregado mineral (%)	15.59
Vacíos llenados de cemento asfáltico (%)	69.78
Flujo (mm)	8.60
Estabilidad (Kg)	3289.80
Relación Polvo Asfalto	1.19

Fuente: Desarrollo propio

En la mezcla con un 100% de ceniza de mazorca de maíz, se mantiene el contenido óptimo de cemento asfáltico en un 5.30%. El peso específico obtenido es de 2.22 gr/cm³, mientras que el porcentaje de vacíos sube a 4.87%. Los vacíos del agregado mineral alcanzan un 15.59% y los vacíos llenos con cemento asfáltico llegan al 69.78%. El flujo disminuye a 8.60 mm, manteniéndose dentro de los límites aceptables. La estabilidad se establece en 3289.80 kg, indicando una disminución de la resistencia en comparación con la adición del 50%, aunque sigue siendo mejor que con el 75%. La relación polvo-asfalto sigue estable en 1.19.

Resumen de resultados de ensayo marshall

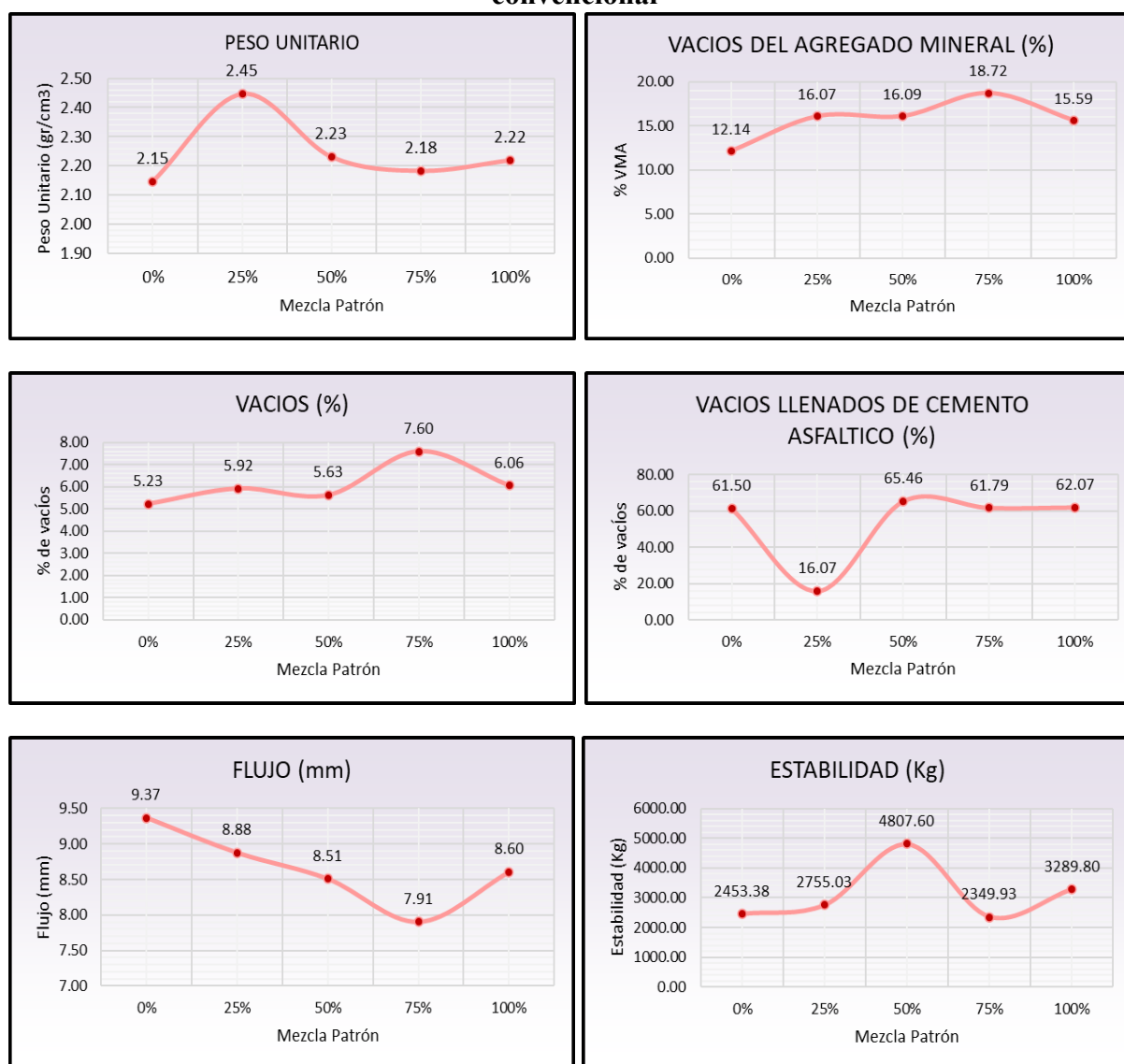
Los resultados relacionados con la resistencia al flujo y la estabilidad en el ensayo Marshall, tanto para la muestra patrón como para aquellas con adición de ceniza, utilizando un 5.3% de cemento asfáltico óptimo, se describen en la Tabla 61.

Tabla 61: Resumen de resultados del ensayo Marshall

RESULTADOS								
Relación Pen-filler	Peso unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del agregado Mineral (%)	Vacíos llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación polvo asfalto	Relación estabilidad flujo
0%	2.15	4.37	14.32	73.27	8.51	2453.38	1.19	2885.38
25%	2.45	5.92	16.07	16.07	8.88	2755.03	1.19	3122.48
50%	2.23	4.44	14.31	69.56	9.37	4807.60	1.19	5610.46
75%	2.18	6.43	18.72	68.26	7.91	2349.93	1.19	2943.47
100%	2.22	4.87	15.59	69.78	8.60	3289.80	1.19	3864.50

Fuente: Desarrollo propio

Imagen N°55: Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC convencional



Fuente: Desarrollo propio

Los gráficos muestran el estudio de los resultados obtenidos en el diseño de la mezcla para una MAC convencional en relación con el porcentaje de vacíos con aire, vacíos del agregado mineral, vacíos llenos de cemento asfáltico y el flujo.

b. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta (TSR)

a. Mezcla Patrón con 0% de Ceniza

En la siguiente tabla se presentan los resultados correspondientes a la mezcla asfáltica de referencia, sin la adición de ceniza de mazorca de maíz, evaluada mediante el ensayo de tracción

indirecta. Estos resultados permiten establecer una referencia para comparar con las mezclas que contienen diferentes proporciones de ceniza.

Tabla 62: Resultado del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, muestra patrón

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
-	Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1133.2	1130.3	1101.7	1144.9	1121.7	1084.6	1139.8	1077.9	1134.3	1100.8
B	SSD de la Muestra	gr	1137.00	1135.00	1105.00	1151.00		1090.00	1145.00	1085.00	1139.00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	693.09	654.36	698.63		588.87	677.11	621.83	593.36	
E	Volumen (B - C)	cc	458.6	441.9	450.6	452.4		501.1	467.9	463.2	545.6	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.471	2.558	2.445	2.531	2.5	2.164	2.436	2.327	2.079	2.3
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.726	2.726	2.726	2.726	2.7	2.726	2.726	2.726	2.726	2.7
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	9.37	6.18	10.33	7.17	8.6	20.61	10.65	14.64	23.75	15.3
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	42.98	27.32	46.54	32.42		103.30	49.81	67.80	129.58	

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	1176.60		NO SE EJECUTA				
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	585.00	652.00	575.00	652.00						
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	565.4	518.7	534.8	524.6						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	17.2	40.4	8.1	31.7						
-	Saturación (100*J'/I)	%	40.0	147.9	17.4	97.8						
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	23.28	17.38	18.68	15.97						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		NO SE EJECUTA				
B''	SSD de la Muestra	gr	1163.90	1166.50	1141.80	1185.80						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00						
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	485.9	546.5	509.8	605.8						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	30.7	36.2	40.1	40.9						
-	Saturación (100*J''/I)	%	71.4	132.5	86.2	126.2						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	4.82	20.16	11.06	29.25						
-	Carga Máxima Kg	kg	295	285	325	295		320	320.0	375	310	
-	Carga Máxima N	N	2893.950	2795.850	3188.250	2893.950	2943.000	3139.200	3139.200	3678.750	3041.100	3249.6
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.84	2.63	2.95	2.68	2.78	3.32	3.27	3.94	3.18	3.43

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) =

80.959%

Fuente: Desarrollo propio

La mezcla patrón, que no contiene ceniza, muestra una retención de resistencia del 80.95%, cumpliendo casi el valor mínimo requerido del 80% según la norma AASHTO T 283 para asegurar la resistencia a la humedad. En las muestras sumergidas, la carga máxima varía entre 285 kg y 325 kg, con una resistencia promedio de 3.43 kg/cm², lo que indica una disminución en comparación con las muestras secas. Estas últimas, con cargas máximas que oscilan entre 310 kg y 375 kg, presentan una resistencia a la tracción indirecta promedio de 3.45 kg/cm², lo que muestra mayor estabilidad.

b. Mezcla con 25% de Ceniza de Mazorca de Maíz

En la tabla siguiente se muestran los resultados del ensayo de tracción indirecta para la mezcla que contiene un 25% de ceniza de mazorca de maíz como reemplazo parcial del filler.

Esta proporción fue evaluada para analizar su efecto sobre la resistencia a la humedad y la estabilidad de la mezcla bajo condiciones de tráfico pesado.

Tabla 63: Resultado del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, muestra con el 25% de ceniza de mazorca de maíz

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
- Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.	
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.16	10.16	10.16	10.16		
t	Espesor	cm	5.65	5.725	5.61	5.725	6.005	6.53	5.99	6.1315		
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1117.6	1160.1	1120.3	1119.9	1132.7	1033.2	1005.8	1017.8	1058.8	1018.9
B	SSD de la Muestra	gr	1123.10	1166.50	1123.50	1123.50		1039.30	1014.30	1024.80	1065.50	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	578.36	593.09	554.36	598.63		528.87	527.11	521.83	593.36	
E	Volumen (B-C)	cc	544.7	573.4	569.1	524.9		510.4	487.2	503.0	472.1	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.052	2.023	1.968	2.134	2.0	2.024	2.064	2.024	2.243	2.0
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.301	2.301	2.301	2.301	2.3	2.301	2.301	2.301	2.301	2.3
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	10.82	12.06	14.44	7.26	12.4	12.02	10.26	12.04	2.52	11.4
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	58.96	69.15	82.18	38.09		61.33	50.00	60.57	11.91	

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	1121.40	1168.10	1128.80	1129.40						
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	485.00	452.00	455.00	552.00						
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	636.4	716.1	673.8	577.4						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	3.8	8.0	8.5	9.5						
-	Saturación (100*J'/I)	%	6.4	11.6	10.3	24.9						
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	16.83	24.88	18.39	10.01						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9						
B''	SSD de la Muestra	gr	1147.60	1200.00	1149.60	1152.00						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	578.00	590.00	552.00	590.00						
E''	Volumen (B' - C'')	cc	569.6	610.0	597.6	562.0						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	30.0	39.9	29.3	32.1						
-	Saturación (100*J''/I)	%	50.9	57.7	35.7	84.3						
-	Hinchamiento (E' - E'')*100/E	%	3.91	5.11	4.22	6.43						
-	Carga Máxima Kg	kg	307	265	270	242		328	335.0	250	300	
-	Carga Máxima N	N	3011.670	2599.650	2648.700	2374.020	2658.510	3217.680	3286.350	2452.500	2943.000	2974.9
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm ²	2.96	2.44	2.45	2.20	2.51	3.42	3.21	2.62	3.07	3.08

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 81.595%

Fuente: Desarrollo propio

Al incorporar un 25% de ceniza como reemplazo parcial del filler, el índice de esfuerzo a tensión (TSR) mejora ligeramente hasta un 81.595%, superando el valor mínimo requerido del 80%. Esto sugiere que la adición de ceniza ayuda a aumentar la resistencia a la humedad y a disminuir la susceptibilidad al deterioro. La carga máxima obtenida es de 335 kg, y la resistencia a la tracción indirecta es de 3.08 kg/cm², lo cual refleja un incremento en la capacidad de carga y flexibilidad comparado con la mezcla patrón. En general, esta proporción de ceniza parece ser adecuada para mejorar la resistencia a la humedad y para influir positivamente en la estabilidad de la mezcla.

c. Mezcla con 50% de Ceniza de Mazorca de Maíz

A continuación, se muestran los resultados del ensayo para la mezcla que contiene un 50% de ceniza de mazorca de maíz. Esta dosificación se incluyó con el fin de identificar el nivel óptimo de adición de ceniza que pueda maximizar la estabilidad y la durabilidad de la mezcla.

Tabla 64: Resultado del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, muestra con el 50% de ceniza de mazorca de maíz

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
- Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.	
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1063.7	1069.0	1130.3	906.0	1087.7	1005.5	1087.6	1050.9	967.3	1048.0
B	SSD de la Muestra	gr	1069.10	1073.90	1136.60	911.70		1011.10	1093.30	1057.30	974.40	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	628.36	623.09	654.36	528.63		588.87	627.11	621.83	553.36	
E	Volumen (B-C)	cc	440.7	450.8	482.2	383.1		422.2	466.2	435.5	421.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.413	2.371	2.344	2.365	2.4	2.381	2.333	2.413	2.297	2.4
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.547	2.547	2.547	2.547	2.5	2.547	2.547	2.547	2.547	2.5
H	% de vacíos ((G-F)/G)*100	%	5.23	6.89	7.96	7.13	6.7	6.49	8.39	5.24	9.79	6.7
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	23.06	31.05	38.41	27.31		27.40	39.13	22.82	41.21	

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	921.50						
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	565.00	581.00	585.00	506.00						
E'	Volumen de la Muestra (B'-C')	cc	511.1	505.6	562.9	415.5						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B'-A)	cc	12.4	17.6	17.6	15.5						
-	Saturación (100*J'/I)	%	53.8	56.7	45.8	56.7						
-	Hinchamiento (E'-E)*100/E	%	15.96	12.15	16.73	8.47						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de Maria												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9						
B''	SSD de la Muestra	gr	1078.30	1084.80	1145.70	949.50						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	622.00	620.00	552.00	520.00						
E''	Volumen (B''-C'')	cc	456.3	464.8	593.7	429.5						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B''-A)	cc	14.6	15.8	15.4	43.5						
-	Saturación (100*J''/I)	%	63.3	50.9	40.1	159.3						
-	Hinchamiento (E''-E'')*100/E	%	3.04	2.77	19.80	11.17						
-	Carga Máxima Kg	kg	305	315	325	305		346	354.0	345	325	
-	Carga Máxima N	N	2992.050	3090.150	3188.250	2992.050	3065.625	3394.260	3472.740	3384.450	3188.250	3359.9
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.94	2.90	2.95	2.77	2.89	3.59	3.62	3.62	3.34	3.54

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 81.623%

Fuente: Desarrollo propio

La incorporación del 50% de ceniza muestra un aumento significativo en la relación de esfuerzo a tensión (TSR), alcanzando un 81.623%. Con esta proporción de ceniza, la mezcla obtiene una carga máxima de 354 kg y una resistencia a la tracción indirecta de 3.62 kg/cm², lo que representa los mejores valores entre todas las mezclas evaluadas. Esto indica que el 50% de ceniza es la proporción óptima, mejorando notablemente la estabilidad y la resistencia frente a la humedad. Los elevados valores de carga máxima y resistencia a la tracción confirman que esta mezcla es la más resistente y duradera bajo condiciones de tránsito pesado.

d. Mezcla con 75% de Ceniza de Mazorca de Maíz

La tabla siguiente presenta los resultados correspondientes a la mezcla asfáltica con un 75% de ceniza de mazorca de maíz como reemplazo del filler. Este alto porcentaje fue evaluado para determinar los límites de adición que la mezcla puede soportar antes de perder sus propiedades mecánicas.

Tabla 65: Resultado del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, muestra con el 75% de ceniza de mazorca de maíz

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
- Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.	
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1079.3	1009.9	1021.3	1022.8	1036.8	1063.8	1116.2	911.9	941.1	1030.6
B	SSD de la Muestra	gr	1086.80	1016.40	1028.50	1030.60		1074.00	1123.20	920.10	947.40	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	613.09	624.36	628.63		588.87	657.11	551.83	553.36	
E	Volumen (B - C)	cc	408.4	403.3	404.1	402.0		485.1	466.1	368.3	394.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.642	2.504	2.527	2.544	2.6	2.193	2.395	2.476	2.388	2.4
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.793	2.793	2.793	2.793	2.8	2.793	2.793	2.793	2.793	2.8
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	5.40	10.36	9.53	8.91	8.4	21.50	14.27	11.35	14.50	15.7
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	22.05	41.77	38.51	35.81		104.29	66.49	41.81	57.13	

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	1097.20	1015.00	1025.60	1055.80		NO SE EJECUTA				
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	625.00	572.00	575.00	612.00						
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	472.2	443.0	450.6	443.8						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	17.9	5.1	4.3	33.0						
-	Saturación (100*J'/I)	%	81.2	12.2	11.2	92.2						
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	15.61	9.84	11.50	10.41						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de Maria												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		NO SE EJECUTA				
B''	SSD de la Muestra	gr	1097.00	1036.60	1066.40	1057.10						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00						
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	419.0	416.6	434.4	477.1						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	17.7	26.7	45.1	34.3						
-	Saturación (100*J''/I)	%	80.3	63.9	117.1	95.8						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	2.24	3.00	6.72	16.93						
-	Carga Máxima Kg	kg	189	57	75	125		175	95.0	205	110	
-	Carga Máxima N	N	1854.090	559.170	735.750	1226.250	1093.815	1716.750	931.950	2011.050	1079.100	1434.7
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	1.82	0.53	0.68	1.14	1.04	1.82	0.97	2.15	1.13	1.52

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =		68.611%
--------------------------------------	--	---------

Fuente: Desarrollo propio

Este análisis sugiere que la mezcla asfáltica probada en este cuadro tiene un rendimiento deficiente frente a la humedad, ya que la retención de resistencia (68.61%) está muy por debajo del estándar mínimo del 80%. Esto implica que la mezcla es inadecuada para entornos donde haya exposición frecuente al agua o humedad. Además, la variación en las cargas máximas de las muestras secas también sugiere que la mezcla puede presentar inconsistencias en su estabilidad estructural, lo que podría comprometer la calidad del pavimento.

e. Mezcla con 100% de Ceniza de Mazorca de Maíz

La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos para la mezcla que utiliza un 100% de ceniza de mazorca de maíz como sustituto completo del filler convencional. Este ensayo tiene como objetivo evaluar el impacto máximo de la ceniza en las propiedades mecánicas y la resistencia de la mezcla.

Tabla 66: Resultado del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, muestra con el 100% de ceniza de mazorca de maíz

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
-	Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1106.4	1111.6	1140.9	1178.6	1119.6	1110.2	1200.0	1156.5	1162.4	1155.6
B	SSD de la Muestra	gr	1114.40	1120.30	1147.20	1187.71		1243.10	1209.19	1161.13	1167.28	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	693.09	654.36	698.63		588.87	677.11	621.83	593.36	
E	Volumen (B - C)	cc	436.0	427.2	492.8	489.1		654.2	532.1	539.3	573.9	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.537	2.602	2.315	2.410	2.5	1.697	2.255	2.144	2.025	2.0
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.857	2.857	2.857	2.857	2.9	2.857	2.857	2.857	2.857	2.9
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	11.19	8.93	18.98	15.66	13.0	40.61	21.06	24.94	29.11	28.9
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	48.80	38.15	93.53	76.57		265.66	112.08	134.53	167.08	

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	1116.20	1126.50	1185.40	1198.10		NO SE EJECUTA				
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	625.00	662.00	585.00	582.00						
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	491.2	464.5	600.4	616.1						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	9.8	14.9	44.5	19.5						
-	Saturación (100*J'/I)	%	20.1	39.1	47.6	25.5						
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	12.65	8.73	21.82	25.97						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de Maria												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		NO SE EJECUTA				
B''	SSD de la Muestra	gr	1143.90	1160.70	1178.80	1216.10						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00						
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	465.9	540.7	546.8	636.1						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	37.5	49.1	37.9	37.5						
-	Saturación (100*J''/I)	%	76.8	128.7	40.5	49.0						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	6.08	24.43	8.99	23.86						
-	Carga Máxima Kg	kg	212	192	193	214		325	348.0	375	215	
-	Carga Máxima N	N	2079.720	1883.520	1893.330	2099.340	1988.978	3188.250	3413.880	3678.750	2109.150	3097.5
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.04	1.77	1.75	1.94	1.88	3.37	3.56	3.94	2.21	3.27

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =	57.437%
--------------------------------------	---------

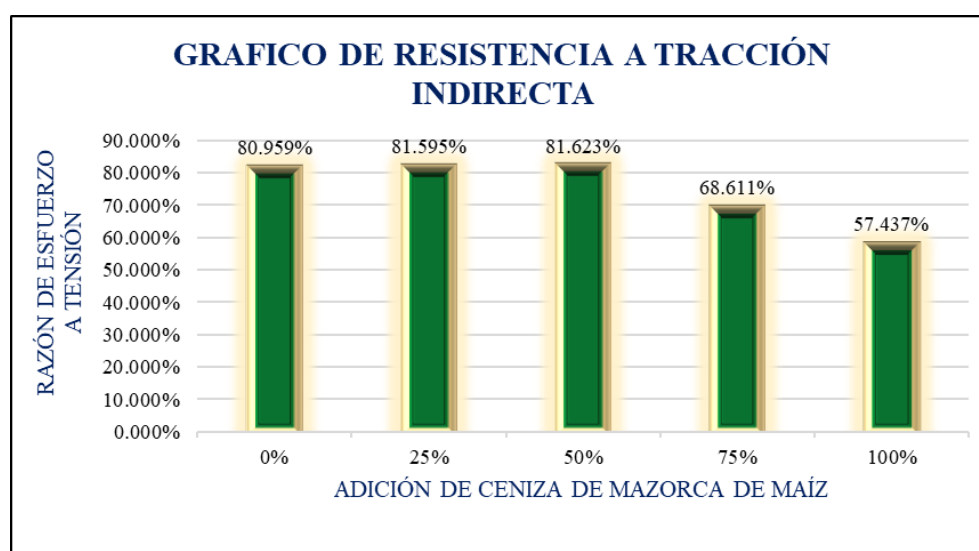
Fuente: Desarrollo propio

Este cuadro muestra que la mezcla asfáltica tiene un rendimiento insuficiente frente a la humedad, con una retención de resistencia del 57.437%, muy por debajo del mínimo aceptable del 80% según la norma AASHTO T 283. Esto sugiere que la mezcla es inadecuada para aplicaciones en zonas con alta humedad o condiciones de lluvia constante, ya que sufre una pérdida significativa de resistencia al estar en contacto con el agua. Estos resultados indican que el reemplazo total del filler por ceniza de mazorca de maíz compromete la integridad de la mezcla, haciéndola inadecuada para aplicaciones en pavimentos que deben soportar tráfico pesado.

Tabla 67: Resumen de los resultados del ensayo de tracción directa

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA		
Nº	Muestra	Razón de esfuerzo a tensión (TSR)
1	Patrón 0%	80.959%
2	Con adición al 25%	81.595%
3	Con adición al 50%	81.623%
4	Con adición al 75%	68.611%
5	Con adición al 100%	57.437%

Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 02: Resistencia a tracción indirecta

Fuente: Desarrollo propio

c. Ensayo de Cántabro

El ensayo de desgaste Cantábro se realizó como una evaluación final para verificar el comportamiento de las mezclas asfálticas con el contenido óptimo de cemento asfáltico, previamente determinado mediante los ensayos Marshall y de tracción indirecta. Tras evaluar diferentes proporciones de ceniza de mazorca de maíz como reemplazo del filler, se concluyó que el 50% es la proporción óptima, mostrando el mejor desempeño mecánico. Por este motivo, se analizaron dos tipos de mezcla: la mezcla convencional (sin ceniza) y la mezcla con 50% de ceniza de mazorca de maíz. Este ensayo permitió evaluar la resistencia de las mezclas frente a la pérdida de material por desgaste superficial, un factor crucial para determinar la durabilidad de los pavimentos bajo condiciones de tráfico pesado.

a. Mezcla Convencional (0% de Ceniza)

Este cuadro muestra los resultados del ensayo cántabro para la mezcla convencional sin ceniza de mazorca de maíz. Se evaluó el desgaste de las briquetas bajo condiciones estándar, utilizando el contenido óptimo de asfalto previamente determinado en los ensayos Marshall y de tracción indirecta.

Tabla 68: Resultado del ensayo de cántabro muestra patrón

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	Nº DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1101.80	979.9	11.06%	15.14%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1128.00	941.4	16.54%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1006.80	747.4	25.76%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1035.80	860.7	16.90%	
5	CONVENCIONAL		300	24°C	1120.20	942.7	15.85%	
6	CONVENCIONAL		300	24°C	1113.20	992.6	10.83%	
7	CONVENCIONAL		300	24°C	1146.10	1002.3	12.55%	
8	CONVENCIONAL		300	24°C	1152.60	1019.0	11.59%	

Fuente: Desarrollo propio

La mezcla convencional, utilizada como referencia para el análisis, presenta un promedio de pérdida por desgaste del 15.14%, lo que indica una resistencia moderada al desgaste. Los valores de pérdida oscilan entre el 11.06% y el 25.76%, mostrando una variabilidad considerable entre las briquetas. Esto sugiere que, aunque la mezcla cumple con las condiciones mínimas de estabilidad determinadas en el ensayo Marshall y presenta resistencia aceptable en tracción indirecta, su comportamiento ante el desgaste superficial no es el óptimo, haciendo que la mezcla sea susceptible a la desintegración bajo condiciones de tráfico y factores ambientales.

b. Mezcla con Adición de 50% de Ceniza de Mazorca de Maíz

El cuadro siguiente presenta los resultados del ensayo cántabro para la mezcla asfáltica que contiene un 50% de ceniza de mazorca de maíz como reemplazo parcial del filler. Esta mezcla fue sometida a pruebas para evaluar su resistencia al desgaste, utilizando el contenido óptimo de asfalto determinado en los ensayos Marshall y de tracción indirecta.

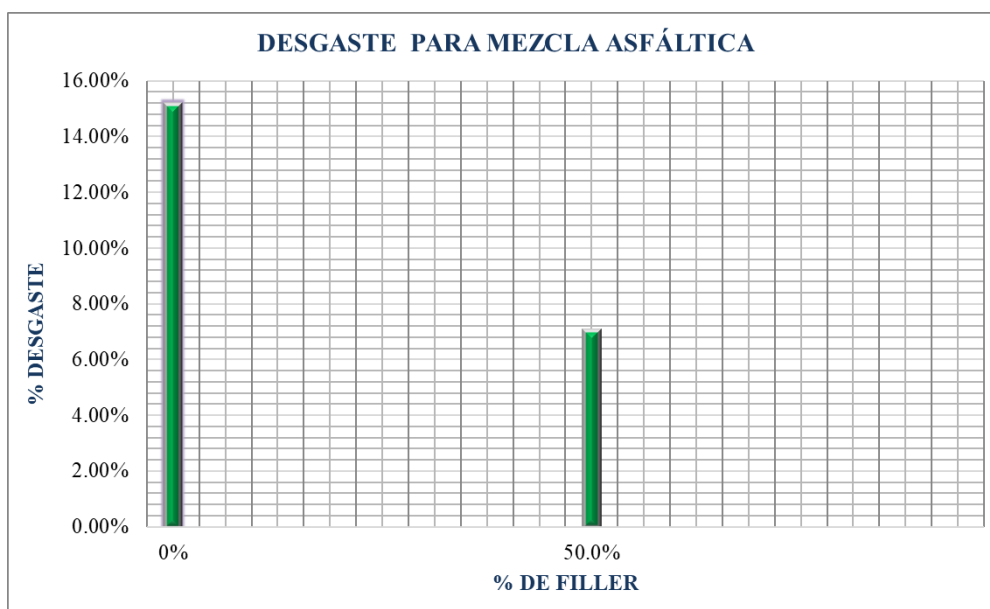
Tabla 69: Resultado del ensayo de cántabro muestra optima al 50 % de adición de ceniza de mazorca de maíz

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	Nº DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CON ADICION AL 50%	50.0%	300	24°C	1200.96	1172.41	2.38%	7.01%
2	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1164.24	1097.57	5.73%	
3	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1078.86	1028.87	4.63%	
4	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1125.30	1058.23	5.96%	
5	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1083.13	957.15	11.63%	
6	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1165.61	1026.02	11.98%	
7	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1173.73	1105.26	5.83%	
8	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1134.66	1044.33	7.96%	

Fuente: Desarrollo propio

Al adicionar un 50% de ceniza como reemplazo parcial del filler, se observa una mejora significativa en la resistencia al desgaste. El promedio de pérdida por desgaste disminuye a 7.01%, representando una reducción de más del 50% respecto a la mezcla convencional. Los resultados varían entre el 2.38% y el 11.63%, lo que muestra una menor variabilidad y un mejor comportamiento estructural frente a la abrasión. Estos valores reflejan una mezcla más uniforme y con mayor cohesión interna, como ya se observó en el ensayo de tracción indirecta, donde la mezcla con ceniza mostró una buena resistencia a la tensión.

Gráfico 03: Desgaste optimo con adición y sin adición



Fuente: Desarrollo propio

Evaluación económica

a. Análisis de costos de producción

A continuación, se presentan los costos asociados a la producción de la mezcla asfáltica, desglosados en las siguientes tablas. Estas tablas muestran un análisis comparativo de los precios unitarios tanto mezcla convencional y modificada.

Tabla 70: Resultado de análisis de precios unitarios para un MAC convencional (patrón)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONVENCIONAL						
PARTIDA:	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PEN 60/70					
RENDIMIENTO:	80	m3/día				
					Total S/.	691.17
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						10.78
Operario	hh	1.00	0.1000	27.49	2.75	
Oficial	hh	1.00	0.1000	21.61	2.16	
Peón	hh	3.00	0.3000	19.56	5.87	
MATERIALES						513.83
Cemento Portland Tipo I	bls		0.7800	27.88	21.75	
Arena Zarandeada	m3		0.4700	65	30.55	
Piedra chancada 1/2"	m3		0.3200	75	24.00	
Asfalto PEN 60/70	gal		30.7100	12.14	372.82	
Petróleo	gal		5.3000	12.21	64.71	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						166.56
Cargador sobre llantas 125-155 HP 3.5 Y3	hm		0.5843	221.22	129.26	
Grupo electrogeno 230 HP 150 KW	hm		0.0200	255.98	5.12	
Grupo electrogeno 116 HP 75 KW	hm		0.1533	207.81	31.86	
Planta de asfalto de 60 - 115 ton/hr	hm		0.0000	390.96	0.00	
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	10.78	0.32	

Fuente: Desarrollo propio

El costo total es de S/. 691.17 para un rendimiento de 80 m³/día, con el mayor gasto en materiales (S/. 513.83), especialmente en asfalto PEN 60/70 y petróleo.

Tabla 71: Resultado de análisis de precios unitarios para un MAC con adicción de ceniza

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS MODIFICADA						
PARTIDA:	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PEN 60/70					
RENDIMIENTO:	80	m3/día				
					Total S/.	684.60
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						10.78
Operario	hh	1.00	0.1000	27.49	2.75	
Oficial	hh	1.00	0.1000	21.61	2.16	
Peón	hh	3.00	0.3000	19.56	5.87	
MATERIALES						507.26
Cemento Portland Tipo I	bls		0.3900	27.88	10.87	
Arena Zarandeada	m3		0.4700	65	30.55	
Piedra chancada 1/2"	m3		0.3200	75	24.00	
Ceniza de mazorca de maíz	bls		0.4100	10.5	4.31	
Asfalto PEN 60/70	gal		30.7100	12.14	372.82	
Petróleo	gal		5.3000	12.21	64.71	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						166.56
Cargador sobre llantas 125-155 HP 3.5 Y3	hm		0.5843	221.22	129.26	
Grupo electrogeno 230 HP 150 KW	hm		0.0200	255.98	5.12	
Grupo electrogeno 116 HP 75 KW	hm		0.1533	207.81	31.86	
Planta de asfalto de 60 - 115 ton/hr	hm		0.0000	390.96	0.00	
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	10.78	0.32	

Fuente: Desarrollo propio

El costo total es de S/. 684.60, generando un ahorro de S/. 6.57 respecto a la mezcla convencional. Este ahorro se debe principalmente a la reducción en el uso de cemento Portland.

Discusiones

1. Según el primer objetivo específico, caracterizar la composición química de las cenizas de mazorca de maíz, los resultados obtenidos en la tabla 35, muestran las principales propiedades químicas de las cenizas. El análisis de fluorescencia de rayos X reveló un alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), que suman un 71.49% clasificándola como una ceniza de clase N según los estándares encontrado en AASHTO M 295-001 (tabla 11) este alto contenido de SiO_2 es característico de las cenizas puzolánicas, lo que indica que la MCA tiene un gran potencial para ser utilizada como material de relleno en mezclas asfálticas, datos que al ser comparado con los resultados de Destaw Kifle, Nigus Getu, Despertó Mesfn, Worku Yifru y Abebe Sewunet (2022), se encontró que la MCA en ese estudio tenía un contenido de 73.26% de SiO_2 , clasificándola también como un material de clase N. A pesar de la diferencia en los porcentajes, ambos estudios coinciden en que el alto contenido de SiO_2 en la MCA es clave para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, contribuyendo a la formación de un mástico bituminoso más

cohesivo y duradero. El comportamiento puzolánico de la MCA permite que las mezclas asfálticas mejoren en estabilidad y resistencia, como se observa tanto en esta investigación como en el antecedente, por otro lado, el análisis granulométrico del filler de ceniza es fundamental para evaluar su efectividad en mezclas asfálticas. El filler, al ser un material de partículas muy finas, pasa por el tamiz No. 200 (0.075 mm), lo que le permite rellenar los vacíos entre los agregados más grandes. Este comportamiento mejora la compactación y estabilidad de la mezcla. En este contexto, la ceniza de mazorca de maíz, gracias a su distribución granulométrica adecuada, actúa eficientemente como material puzolánico. Su alta proporción de partículas finas favorece la reducción de los vacíos en la mezcla asfáltica, lo que contribuye a una mayor densidad y, por lo tanto, a una mezcla más resistente y durable.

2. Según el segundo objetivo específico, establecer el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente con ceniza de mazorca de maíz, los resultados obtenidos en la tabla 55, 61, 67, 68 y 69 indicaron que el contenido óptimo de cemento asfáltico se mantiene en 5.30%, basado en los ensayos Marshall y los parámetros de estabilidad y flujo. Este valor asegura un equilibrio entre la cohesión interna de la mezcla y su resistencia a las cargas de tráfico pesado, datos que al ser comparado con los resultados de Rosales Lecca (2019) en la cual se investiga la incorporación de cenizas de carbón mineral en un 10% en mezclas asfálticas, se observa una concordancia en el enfoque. En el cual determinó un contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.10% para la mezcla modificada, en comparación con el 5.01% para la mezcla convencional. Al igual que en nuestro estudio, el uso de un subproducto industrial o agrícola en la mezcla asfáltica permitió mejorar la resistencia a la deformación y la estabilidad de las briquetas. Ambos estudios destacan la importancia de evaluar distintos porcentajes de asfalto para optimizar el rendimiento de la mezcla. Rosales Lecca utilizó porcentajes de 4.00%, 4.5%, 5.00% y 5.5%, un rango similar al evaluado en esta investigación (de 4% a 6%), encontrando que, con la adición de cenizas, se mejora la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo carga de tráfico pesado. En nuestro caso, la mezcla con 5.30% de cemento asfáltico y 50% de ceniza de mazorca de maíz resultó ser la más eficiente en términos de estabilidad; es decir ambos estudios refuerzan la viabilidad técnica y económica del uso de subproductos industriales o agrícolas, como la ceniza de mazorca de maíz, para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, promoviendo además prácticas sostenibles en la construcción vial.

3. Según el tercer objetivo específico, determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente con la adición de ceniza de mazorca de maíz, a la muestra con el óptimo contenido de asfalto, Los ensayos Marshall indicaron que la mezcla con un 50% de ceniza de mazorca de maíz y un contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.30% presentó los mejores valores de estabilidad y flujo, con 4807.60 kg de estabilidad (equivalente a 48.07 kN) y un flujo de 9.37 mm. Estos valores están dentro de los rangos establecidos por la Tabla 423-06, que recomienda un mínimo de 8.15 kN para la Clase A y un rango de 8-14 mm para el flujo, confirmando que la mezcla con 50% de MCA no solo cumple, sino que supera ampliamente los requisitos normativos para pavimentos de tráfico pesado, las mezclas con 25% de MCA también mostraron resultados aceptables, con una estabilidad de 2755.03 kg (27.55 kN) y un flujo de 8.88 mm, cumpliendo con los requisitos para las clases A y B, aunque su rendimiento fue inferior al del 50% de ceniza de mazorca de maíz. Por otro lado, las mezclas con 75% y 100% de MCA, que alcanzaron valores de 2434.93 kg (24.35 kN) y 3289.80 kg (32.90 kN) respectivamente, también superaron los mínimos exigidos para la Clase C, pero presentaron una disminución significativa en la estabilidad, lo que confirma que el 50% de MCA es el porcentaje óptimo para garantizar un rendimiento superior, datos que al ser comparado con los resultados de la investigación realizada por Destaw Kifle, Nigus Getu, Despertó Mesfn, Worku Yifru y Abebe Sewunet (2022), que evaluó la MCA como reemplazo del polvo de piedra triturada en mezclas asfálticas, su investigación encontró que el reemplazo óptimo fue del 75%, con una estabilidad de 11.7 kN (equivalente a 1170 kg) y un flujo de 3.13 mm. Aunque en nuestro estudio el porcentaje óptimo fue menor (50%), ambos coinciden en que la ceniza de mazorca de maíz mejora significativamente las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, particularmente la estabilidad y el flujo. Las diferencias en los porcentajes óptimos pueden deberse a las características locales de los materiales utilizados, como los agregados, el tipo de cemento asfáltico y las condiciones de tráfico; por último, desde un punto de vista teórico, ambas investigaciones destacan la importancia de utilizar residuos agrícolas como el MCA para promover la sostenibilidad en la construcción de pavimentos. El estudio de Destaw Kifle, Nigus Getu, Despertó Mesfn, Worku Yifru y Abebe Sewunet (2021) pone un énfasis particular en el problema de la gestión de residuos agrícolas en Etiopía y en cómo el MCA puede reducir la dependencia de materiales no renovables como el polvo de piedra. De manera similar, en esta investigación, la ceniza de mazorca

de maíz demuestra ser un reemplazo viable del filler tradicional, alineándose con los principios de economía circular y construcción sostenible.

4. Para abordar el cuarto objetivo específico, determinar el incremento en la resistencia al daño por humedad de la Mezcla Asfáltica en Caliente con el óptimo contenido de asfalto (muestra patrón), adicionando ceniza de mazorca de maíz, a través del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, los resultados obtenidos en la tabla 62,63, 64,65,66 y 67 muestran que la mezcla patrón, sin adición de MCA, alcanzó un TSR de 80.95%, cumpliendo el valor mínimo requerido por la norma AASHTO T 283. Con la adición de 25% de MCA, el TSR aumentó a 81.595%, lo que indica una mejora en la resistencia al daño por humedad. La mayor mejora se observó con la adición del 50% de MCA, donde el TSR alcanzó 81.623%, confirmando que el 50% de MCA es la proporción más adecuada para optimizar la resistencia al daño por humedad. A su vez, las mezclas con 75% y 100% de ceniza mostraron valores decrecientes, con 68.61% y 57.44%, respectivamente, lo que indica que un mayor contenido de ceniza reduce la resistencia de la mezcla al daño por humedad, datos que al comparar estos resultados obtenidos con los de Peña Ancasi (2016), donde se utilizó ceniza volante proveniente de la termoeléctrica de Ilo, se encontró que con una adición de solo 0.75% de ceniza volante, se alcanzó un TSR de 86.5%. Si bien la ceniza volante logra un TSR significativamente mayor con una proporción mucho más baja, es importante considerar que la ceniza de mazorca de maíz, utilizada en un 50%, también mejoró la resistencia al daño por humedad de manera notable, logrando superar el valor mínimo requerido de 80% en ambos casos. Aunque la ceniza volante optimiza los resultados con proporciones menores, la ceniza de mazorca de maíz, a pesar de requerir una mayor adición, ofrece un enfoque sostenible utilizando un material agrícola abundante, y logra resultados competitivos en términos de resistencia al agua, con un TSR de 81.623% en el mejor caso. La mejora de la resistencia al daño por humedad en mezclas asfálticas con cenizas de mazorca de maíz se debe a la naturaleza puzolánica de estas cenizas, que interactúan favorablemente con el cemento asfáltico. Esto coincide con los estudios realizados con otros materiales puzolánicos, como las cenizas volantes, que han demostrado mejorar la durabilidad de las mezclas asfálticas al formar un mástico bituminoso más resistente. Sin embargo, como observamos en los resultados de las mezclas con 75% y 100% de ceniza, un exceso de filler puede alterar la cohesión de la mezcla, afectando negativamente su rendimiento.

5. Para abordar el quinto objetivo específico, evaluar la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica en caliente, considerando la adición de ceniza de mazorca de maíz en proporciones óptimas determinadas previamente por los ensayos de marshall y tracción indirecta, mediante la aplicación de un ensayo mecánico, tanto en muestras patrón como en muestras modificadas, los resultados obtenidos en la tabla 68 y 69 mostraron que la mezcla patrón (0% de MCA) presentó una pérdida por desgaste promedio de 15.14%, con valores que oscilaron entre 11.06% y 25.76%. Estos resultados indican que la mezcla, aunque cumple con los valores mínimos, aún presenta una susceptibilidad moderada al desgaste, lo cual podría comprometer su resistencia bajo condiciones de tráfico pesado y desgaste continuo mientras que con la adición de 50% de MCA, se observó una mejora significativa en la resistencia al desgaste, con una pérdida reducida a 7.01%, lo que representa una reducción del 53.71% respecto a la mezcla patrón. Esta mejora confirma que el 50% de MCA es la proporción más efectiva para aumentar la resistencia de la mezcla frente al desgaste, optimizando su capacidad para soportar condiciones de tráfico pesado, datos que, al comparar estos resultados con investigaciones previas, como el estudio de Lizcano García (2020), que evaluó el uso de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), se encontraron diferencias importantes en la cantidad de filler utilizado. En el estudio colombiano, se emplearon mezclas con 3% y 6% de filler de CCA, lo que influye en los resultados obtenidos. En la mezcla con 50% de filler de CCA, la pérdida por desgaste fue de 4.67%, y en la mezcla con 100% de CCA, la pérdida se redujo a 3.89%. A pesar de que los valores de desgaste en el estudio colombiano son menores, se debe tener en cuenta que sus mezclas utilizaron una mayor proporción de filler de ceniza, lo cual afecta las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, en la presente investigación se debe considerar que con solo 1% de filler, la adición de 50% de MCA también mejoró significativamente la resistencia al desgaste, logrando reducir la pérdida a 7.01%. A pesar de las diferencias en las proporciones de filler, ambas investigaciones concluyen que la incorporación de cenizas mejora la resistencia al desgaste. Sin embargo, la presente investigación destaca la viabilidad de la MCA en situaciones donde se utiliza menos filler, lo que resalta su potencial como un material sostenible para la construcción de pavimentos; la mejora en la resistencia al desgaste observada tanto en la MCA como en la CCA se debe a las propiedades puzolánicas de ambos materiales. Estas cenizas refuerzan la cohesión interna de las mezclas, reduciendo la porosidad y aumentando la resistencia.

6. Para abordar el sexto objetivo específico, realizar una comparación económica entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada, los resultados obtenidos indican que la adición de 50% de MCA generó un ahorro del 1.4% en los costos de producción en comparación con la mezcla convencional. El costo de producción de la mezcla con 50% de MCA fue de S/. 684.60 por tonelada, mientras que el costo de la mezcla convencional ascendió a S/. 691.17 por tonelada, según se observa en la Tabla 70 y 71 de esta investigación. Este ahorro se debe principalmente a la reducción del uso de filler mineral, lo que reduce el costo total de los materiales, datos que al ser comparado estos resultados con los de Silvestre Velasquez (2017), se observa que son consistentes con investigaciones previas sobre la utilización de materiales reciclados en mezclas asfálticas, como el plástico PET, encontró que el costo total de la mezcla modificada con 1% de PET fue de S/. 525.89 por tonelada, lo que representó un ahorro del 2.63% respecto a la mezcla tradicional (S/. 540.12). Aunque el ahorro económico logrado en el estudio del PET reciclado es mayor, ambos estudios coinciden en que el uso de materiales reciclados, ya sea la ceniza de mazorca de maíz o PET, puede reducir los costos de producción, la adición de ceniza de mazorca de maíz no solo mejora las propiedades mecánicas de la mezcla, sino que también aporta ventajas económicas importantes, ya que la incorporación de subproductos agrícolas mejora la cohesión interna de las mezclas asfálticas, reduce los vacíos y aumenta la resistencia a la deformación y al desgaste. Estos factores, combinados con el bajo costo de adquisición de la ceniza, hacen que la mezcla modificada sea más eficiente económicamente en comparación con la mezcla convencional, alineándose con las tendencias actuales de sostenibilidad en la construcción.

Conclusiones

1. En relación con el objetivo general, tras un exhaustivo estudio del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con la adición de ceniza de mazorca de maíz como reemplazo parcial del filler, se concluye que dicha adición optimiza significativamente la resistencia estructural del pavimento. Este enfoque no solo mejora la estabilidad y la resistencia al desgaste, sino que también incrementa la resistencia al daño por humedad, lo que se traduce en una mayor durabilidad y sostenibilidad de la mezcla bajo condiciones de tráfico pesado.
2. En cuanto a la caracterización química de la ceniza de mazorca de maíz, los resultados obtenidos revelan que este material presenta propiedades puzolánicas gracias a su alto contenido de óxidos de silicio, aluminio y hierro (71.49%). Esto confirma su capacidad para actuar como sustituto del filler, mejorando las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y contribuyendo a un enfoque más sostenible en la construcción vial.
3. En relación con la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico, los ensayos realizados concluyen que la mezcla asfáltica con la adición de ceniza de mazorca de maíz presenta un contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.30%. Este porcentaje garantiza que la mezcla conserve su cohesión interna y buena adherencia con los agregados, sin sacrificar la resistencia mecánica necesaria para soportar cargas de tráfico pesado. Por lo tanto, la mezcla con este contenido de asfalto asegura un equilibrio entre la flexibilidad y la estabilidad estructural, ofreciendo un comportamiento adecuado en situaciones de alta demanda vehicular.
4. En relación con la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica, el análisis muestra que la adición de un 50% de ceniza de mazorca de maíz es el porcentaje más efectivo para optimizar las propiedades mecánicas. La mezcla con este porcentaje alcanzó una estabilidad de 4807.60 kg y un flujo de 9.37 mm, lo que garantiza que puede resistir deformaciones y cargas repetitivas, extendiendo la vida útil del pavimento.
5. En cuanto al incremento en la resistencia al daño por humedad, la adición de un 50% de ceniza de mazorca de maíz en comparación con la muestra patrón (sin ceniza) mejoró significativamente la resistencia al daño por humedad. El índice de resistencia a la

tracción (TSR) aumentó de 80.95% en la muestra patrón a 81.62% en la mezcla con ceniza, superando el valor mínimo requerido por la normativa AASHTO T 283. Esto evidencia que la ceniza de mazorca de maíz incrementa la durabilidad de la mezcla asfáltica frente a la humedad, mejorando su capacidad de resistencia ante condiciones adversas y prolongando la vida útil del pavimento.

6. En relación con la evaluación de la pérdida por desgaste, los resultados del ensayo cántabro muestran una clara mejora en la resistencia al desgaste superficial con la adición de ceniza de mazorca de maíz (MCA) en proporciones óptimas. La mezcla patrón, sin la adición de ceniza, presentó una pérdida promedio de material del 15.14%, lo cual indica una resistencia moderada al desgaste en condiciones de tráfico pesado. Sin embargo, la mezcla modificada con un 50% de MCA redujo esta pérdida a un 7.01%, lo que representa una mejora significativa de más del 50%. Esta notable reducción en la pérdida de material confirma que la adición de MCA no solo mejora la resistencia a la abrasión superficial, sino que también hace la mezcla más adecuada para entornos de tráfico pesado y de mayor exigencia. Además, esta optimización en la resistencia al desgaste puede contribuir a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo, al prolongar la vida útil del pavimento.

7. En cuanto a la comparación económica entre la mezcla convencional y la modificada, el análisis de costos mostró que la mezcla asfáltica con un 50% de ceniza de mazorca de maíz resultó más económica que la mezcla convencional. La mezcla con ceniza tuvo un costo total de S/. 684.60 por metro cúbico, mientras que la mezcla convencional presentó un costo de S/. 691.17 por metro cúbico, lo que representa un ahorro de S/. 6.57 por metro cúbico. Esta reducción en costos se debe a la sustitución parcial del filler mineral por la ceniza de mazorca de maíz, un subproducto agrícola de bajo costo. Además de la ventaja económica, la mezcla modificada mejora las propiedades mecánicas, lo que se traduce en una mayor durabilidad y menores costos de mantenimiento a largo plazo, haciendo que esta opción sea no solo más económica, sino también más eficiente y sostenible para proyectos viales.

Recomendaciones

1. Se recomienda considerar la incorporación de la ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler en futuras construcciones de carreteras, especialmente en zonas de tráfico pesado, ya que ha demostrado mejorar tanto la estabilidad como la resistencia de las mezclas asfálticas. Esta alternativa, además de optimizar las propiedades mecánicas de la mezcla, ofrece una solución sostenible y económica al uso de materiales no renovables.
2. Es aconsejable llevar a cabo estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad de las mezclas asfálticas con ceniza de mazorca de maíz bajo condiciones reales de tráfico y clima. Si bien los ensayos de laboratorio han sido favorables, la implementación de un programa de monitoreo en proyectos piloto permitirá verificar su comportamiento en la práctica y validar su aplicación a gran escala.
3. Es preferible seguir utilizando el 50% de MCA como el porcentaje más efectivo para mejorar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica, tal como lo demostraron los ensayos. No obstante, se sugiere investigar la posibilidad de usar otros porcentajes y combinaciones con otros materiales, como plásticos reciclados, para encontrar soluciones aún más eficientes y rentables.
4. Los resultados muestran que la mezcla con ceniza de mazorca de maíz es más económica que la mezcla convencional. Se recomienda aprovechar esta ventaja económica, promoviendo el uso de MCA como una alternativa que no solo reduce los costos de construcción, sino que también disminuye los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, esta alternativa contribuye a una construcción vial más ecológica al reducir la dependencia de materiales no renovables.

Referencias

- [1] F. De Ciencias and Y. Tecnología, “PAVIMENTOS Texto Guía Contenido General.”
- [2] U. Región con Alma, “Gobierno Regional Lambayeque,” 2010.
- [3] A. Wozuk, L. Bandura, and W. Franus, “Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt,” *J Clean Prod*, vol. 235, pp. 493–502, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.353.
- [4] R. Mistry, S. Karmakar, and T. Kumar Roy, “Experimental evaluation of rice husk ash and fly ash as alternative fillers in hot-mix asphalt,” *Road Materials and Pavement Design*, vol. 20, no. 4, pp. 979–990, May 2019, doi: 10.1080/14680629.2017.1422791.
- [5] D. Kifile, N. Getu, A. Mesfin, W. Yifru, and A. Sewunet, “Evaluation of Maize Cob Ash as Filler in Hot-Mix Asphalt Concrete Production,” *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 592–605, May 2023, doi: 10.1007/s42947-021-00150-x.
- [6] “UNIVERSIDAD RICARDO PALMA ESCUELA DE POSGRADO.”
- [7] “UNIVERSIDAD RICARDO PALMA ESCUELA DE POSGRADO.”
- [8] A. Rosales Lecca, J. Gerardo Asesor Urrutia Vargas, and S. Milquisider, “UNIVERSIDAD SAN PEDRO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil.”
- [9] B. Larrea Saldaña, M. Leonardo, and A. Mg Cespedes Deza Jose Alfredo Rolando, “FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS Diseño de mezcla asfáltica adicionando cenizas de cascarilla de oryza sativa, Chiclayo-Lambayeque PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL Autor.” [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-1579-8388>
- [10] C. Gonzales, I. Vargas Chacaltana, and L. Alberto, “FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero Civil.”
- [11] E. M. Mamanchura, “Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.”
- [12] O. F. Lizcano, G. Deyber, and A. R. Felix, “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO

FÍSICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON LLENANTE MINERAL DE CENIZA DE LA CASCARILLA RESULTANTE DE LA MOLIENDA DEL ARROZ,” 2020.

- [13] “UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.” [Online]. Available: www.construccion.org.pe/Email:icg@icg.org.pe/Telefax:421-7896
- [14] “MC-01-13 Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - (Versión Revisada - JULIO 2013)”.
- [15] “2.TECNOLOGIA-DEL-ASFALTO-Y-PRACTICAS-DECONSTRUCCION (1)”.
- [16] “scribd.vdownloaders.com_sp1-performance-graded-asphalt-binder-specification-amptestng-ai”.
- [17] “pdf-4-ingenieria-de-pavimentos-materiales-diseo-y-conservacion-jose-rafaelmenendez-acurio-1ra-edicion_compress”.
- [18] “MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES”.
- [19] M. Ángel, M. Pérez, I. Alfaro Ruiz, J. Miguel, and F. Arnal, “PROYECTO FIN DE CARRERA INFLUENCIA DE LA NATURALEZA DEL FÍLLER DE APORTACIÓN EN LA ADHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS DISCONTÍNUAS AUTOR,” 2011.
- [20] “pdf-asphalt-institute-introduction-to-asphalt-manual-series-asphalt-institute2001pdf_compress”.
- [21] J. G. Speight, “Test Methods for Asphalt Binders,” in *Asphalt Materials Science and Technology*, Elsevier, 2016, pp. 137–203. doi: 10.1016/b978-0-12-800273-5.00004-0.
- [22] B. Williams, A. Copeland, and T. Ross, “Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2019 Information Series 138 10th Annual Survey,” 2016. [Online]. Available: www.AsphaltPavement.org
- [23] “scribd.vdownloaders.com_hot-mix-asphalt-material-mixture-design-and-constructionedn”.
- [24] B. Jones and N. Iredale, “Enterprise education as pedagogy,” *Education + Training*, vol. 52, no. 1, pp. 7–19, Feb. 2010, doi: 10.1108/00400911011017654.
- [25] “tutumluer_erol_199512_phd_413304”.

- [26] J. R. Willis and D. H. Timm, "FIELD-BASED STRAIN THRESHOLDS FOR FLEXIBLE PERPETUAL PAVEMENT DESIGN," 2009.
- [27] M. C. Casaux, L. Zorzutti, F. Martínez, and S. Angelone, "CARACTERIZACION REOLOGICA DE MEZCLAS ASFALTICAS. DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO A PARTIR DEL ENSAYO DE VIGA SEMICIRCULAR EN FLEXION."
- [28] Y. Richard, "Modeling of Asphalt Concrete," 2009.
- [29] Fhwa, "International technology Scanning Program Warm-Mix asphalt : european Practice." [Online]. Available: www.international.fhwa.dot.gov
- [30] Y. Chen, S. Xu, G. Tebaldi, and E. Romeo, "Role of mineral filler in asphalt mixture," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 23, no. 2, pp. 247–286, 2022, doi: 10.1080/14680629.2020.1826351.
- [31] "Designación AASHTO M 295-001".
- [32] A. García, J. Norambuena-Contreras, M. Bueno, and M. N. Partl, "Single and multiple healing of porous and dense asphalt concrete," *J Intell Mater Syst Struct*, vol. 26, no. 4, pp. 425–433, Mar. 2015, doi: 10.1177/1045389X14529029.
- [33] R. Lowe, "Pozzolanic Properties of Biomass Fly Ash," 2012. [Online]. Available: https://tigerprints.clemson.edu/all_theses
- [34] R. Siddique, J. Khatib, and I. Kaur, "Use of recycled plastic in concrete: A review," *Waste Management*, vol. 28, no. 10, pp. 1835–1852, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.011.
- [35] "pdf-ntp-339185-contenido-de-humedad-de-agregadospdf_compress".
- [36] "Instituto Nacional de Vías."
- [37] M. Marshall, I. Gustavo, and O. Prieto, "DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE," 2006. [Online]. Available: <https://filadd.com>
- [38] "RESISTENCIA DEL ASFALTO COMPACTADO MEZCLAS PARA DAÑOS INDUCIDOS POR LA HUMEDAD."

Anexos

Anexo1: Validación de ensayos de laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 002-2024-II

FECHA: 21 de octubre 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Tarrillo Montenegro, Susan Mireyli

TITULO DE LA TESIS: Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Ensayo de caracterización de ceniza de mazorca de maíz
- Contenido de humedad del agregado fino y grueso
- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino
- Peso específico y absorción del agregado grueso y fino
- Gravedad específica y Límites de consistencia
- Sales solubles totales y Equivalente de arena
- Abrasión de los Ángeles
- Partículas chatas y alargadas, Caras fracturadas
- Durabilidad al sulfato de magnesio y Azul de metileno
- Granulometría de la ceniza de mazorca de maíz
- Ensayo Marshall
- Ensayo de tracción indirecta
- Ensayo de cántabro

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.


Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Anexo2: Fichas técnicas de materiales utilizados

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ				
CLASE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO		Fecha efectiva: Febrero 2024		
TIPO DE PRODUCTO CEMENTO ASFÁLTICO		Reemplaza edición de: Enero 2019		
NOMBRE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN				
PROPIEDADES	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO DE ENSAYO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN, a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49
VOLATILIDAD	Reportar			
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD en tricloroetileno, % masa	99,0		D-2042	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3,2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa	0,8			
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1,0	+1,0		Francois RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar		D-2170	T-201
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
Punto de ablandamiento, °C	46		D-36	T-53
REQUERIMIENTO GENERAL:		El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.		
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				

Anexo3: Caracterización de la composición química de las cenizas de la mazorca de maíz

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X F.Q.A. PERÚ S.A.C.

SOLICITANTE	SUSAN MIREYLI TARRILLO MONTENEGRO
TESIS	Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler
MUESTRA	CENIZA DE MAZORCA DE MAÍZ
FECHA DE INGRESO	24 DE ABRIL DEL 2024

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

CONDICIONES DE LA MEDICION:

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.

Fuente de rayos x: tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)

Concentración: lg/l.

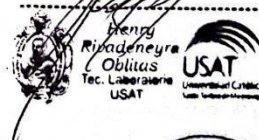
2. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 0.503g de la muestra de ceniza de mazorca de maíz, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

3. METODO

- BASADO EN LA NORMA
- VOLUMETRIA

: ASTM C25
: USAQ-ME06



JEFE DE LABORATORIO
ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ING. CARLOS VALQUI MENDOZA



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL
CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



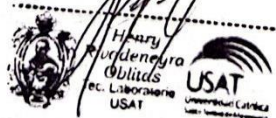
4. RESULTADOS

COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
DIOXIDO DE SILICIO (Si O ₂)	58.54	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
OXIDO DE CALCIO (Ca O)	12.86	
TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	9.77	
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃)	3.18	
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	6.21	
OXIDO DE TITANIO (Ti O)	1.44	
OXIDO DE ESTRONCIO (Sr O)	1.89	
OXIDO DE COBRE (Cu O)	0.37	
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	<0.01	
OXIDO DE ZINC (Zn O)	0.013	
OXIDO DE MANGANESO (Mn O)	<0.01	
PÉRDIDA AL FUEGO	5.707	

Determinación	Unidades	Resultados
Densidad	gr/cm ³	0.641

5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente Calcio (Ca), sílice (Si), Aluminio (Al) y Potasio (K) con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró; hierro (Fe), titanio (Ti), estroncio (Sr), cobre (Cu), azufre (S), zinc (Zn) y manganeso (Mn).



CARLOS ALBERTO VALQUERO
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588



TRUJILLO, 29 DE ABRIL DEL 2024

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Anexo4: Ensayo de contenido de humedad Agregado fino



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



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

NORMA ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANtera	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1539.3	1539.3
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1531	1531
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.54	0.54
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.54	



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

Anexo5: Ensayo de contenido de humedad Agregado grueso



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



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

NORMA ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1620.53	1620.53
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1608.31	1608.31
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.76	0.76
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.76	



Henry
 Rivadeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



Anexo6: Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino y grueso



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



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

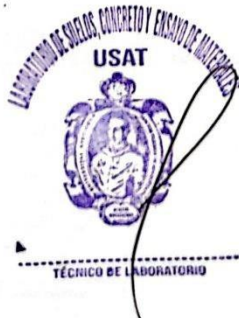
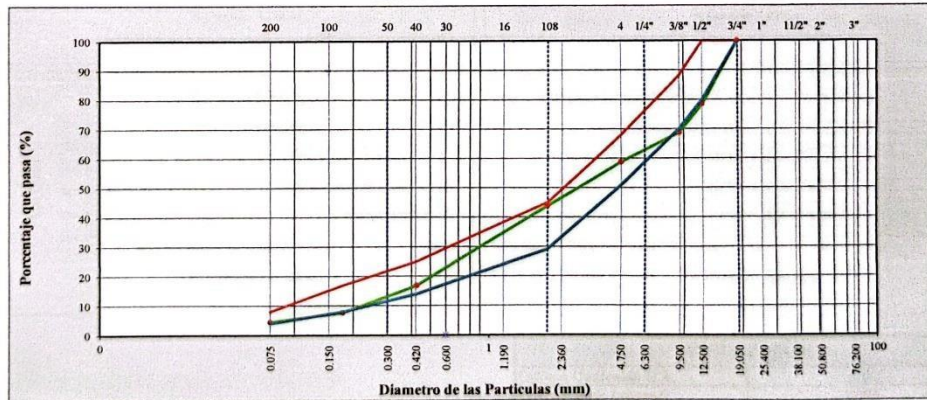
PORCENTAJES DE DISEÑO

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
 Peso inicial seco : 2610 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	80	100
1/2"	12.500	562	21.5	21.5	78.5	67	85
3/8"	9.500	255	9.8	31.3	68.7	60	77
N° 4	4.750	259	9.9	41.2	58.8	43	54
N° 10	2.000	392.0	14.9	56.1	43.9	29	45
N° 40	0.425	710.0	27.0	83.1	16.9	14	25
N° 80	0.177	241.0	9.2	92.3	7.7	8	17
N° 200	0.075	85.0	3.2	95.5	4.5	4	8
< N° 200	FONDO	117.0	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo7: Peso específico y absorción agregado grueso



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



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NORMA ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022 MTC E 206

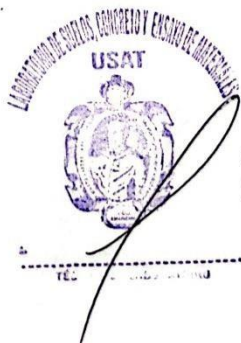
TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3133.0	3133.0
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3148.7	3148.7
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2840.0	2840.0
4.- Peso de la canastilla	(g)	878.0	878.0
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1962.0	1962.0

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.640
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.653
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.675
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.50



Henry
Rivadenebra
Obitas
Tec. Laboratorio
USAT

Anexo8: Peso específico y absorción agregado Fino



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



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

NORMA ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022 MTC E 205

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferrefafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	975.0	975.0
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	701.5	701.5
3.- Peso del Agua	(g)	273.5	273.5
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	699.3	699.3
5.- Peso del Frasco	(g)	201.5	201.5
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497.8	497.8
7.- Volumen del frasco	(g)	500.0	500.0

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.198
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.208
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.220
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.45



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo9: Ensayo de índice de plasticidad (malla N° 40)



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



ENSAYO DE SUELOS PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO

NORMA MTC E 111 - N.T.P. 399.131

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANtera	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	12	15	16	20	
N° de tarro	12	15	16		
N° de golpes	35	23	14		
Tarro + suelo húmedo	36.2	38.6	32.6	14.2	
Tarro + suelo seco	36.2	38.6	32.6	14.2	
Agua	0	0	0	0	
Peso del tarro	25.6	21.4	23.4	9.80	
Peso del suelo seco	10.6	17.2	9.2	4.4	
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP



Observaciones:

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.



Anexo10: Ensayo de índice de plasticidad (malla N° 200)



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



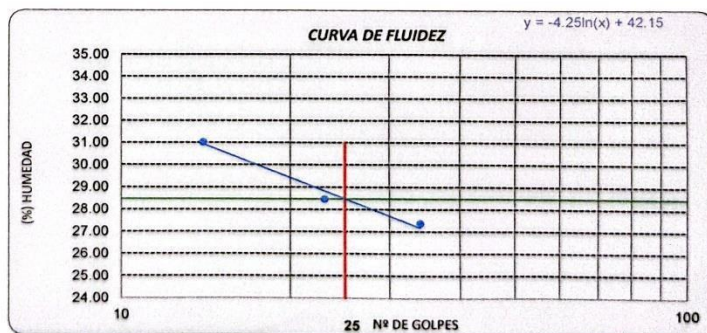
ENSAYO DE SUELOS PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO

NORMA MTC E 111 - N.T.P. 399.131

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireylli
CANtera	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	12	15	16	20	
N° de tarro	12	15	16	20	
N° de golpes	34	23	14		
Tarro + suelo húmedo	36.55	39.39	47.23	17.98	
Tarro + suelo seco	34.5	36.9	42.1	16.8	
Agua	2.05	2.49	5.13	1.18	
Peso del tarro	27.01	28.15	25.56	12.00	
Peso del suelo seco	7.49	8.75	16.54	4.8	
Porcentaje de humedad	27.37	28.46	31.02	24.58	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	28.47
Límite Plástico	24.58
Índice de Plasticidad	3.89



Observaciones:

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

Anexo11: Sales solubles totales del agregado grueso



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



ENSAYOS DE SUELOS: MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEA.

NTP 339.152 / USBR E - 8 - MTC E 219

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3000
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.30

OBSERVACIONES :

- 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 Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo12: Saleas solubles totales del agregado fino



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



ENSAYOS DE SUELOS: MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEA.

NTP 339.152 / USBR E - 8 - MTC E 219

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANtera	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3900
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.39

OBSERVACIONES :

- 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 Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo13: Equivalente de arena



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



**ENSAYO DE SUELOS METODO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE
 ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO**

NORMA NTP 339,146 - EG - 2000 MTC E 114

EXAMEN CUANTITATIVO

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	9.30	8.30	10.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.20	4.00	4.60
EQUIVALENTE DE ARENA	45.16 %	48.19 %	43.81 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	46 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Min	:	60 %	Máximo

OBSERVACIONES :

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



Henry
 Rivasdeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

Anexo14: Abrasión de los ángulos



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



**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**

NORMA MTC E 207 / ASTM C-131

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

% de desgaste por abrasión	%	16.5
% de uniformidad	%	0.4

Requerimiento : 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

Anexo15: Partículas chatas y alargadas



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MUGROVEJUNO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO GRUESO

ASMT D- 4791-99

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANIERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

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	500.00	56.82	43.18	15	1.70		4	0.45	
3/8"	9.50	200.00	22.73	20.45	18	2.05		25	2.84	
1/4"	6.30	180.00	20.45	0.00	10	1.14		14.3	1.63	
TOTAL					43	4.89		43.3	4.92	

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	880.0	ESPECIFICACIÓN 10% Max.
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	9.8	

OBSERVACIONES: El ensayo se realizó con la relación dimensional 1:3



Anexo16: Caras fracturadas con una y dos caras



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



METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

(NORMA: MTC E 210; ASTM D 5821)

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra Chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

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						
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	290.0	58.0 %	500.0 %	290.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	200.0	80.0	40.0 %	200.0 %	80.0 %
TOTAL		57800.0 g.	700.0 g.	370.0 g.		700.0 %	370.0 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 52.9%

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						
3/4"	1/2"	500.0 g.	500.0	139.0	27.8 %	500.0 %	139.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	200.0	97.0	48.5 %	200.0 %	97.0 %
TOTAL		57800.0 g.	700.0 g.	236.0 g.		700.0 %	236.0 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 33.7%

NOTA: La partículas fracturadas fue determinado por masa.



Henry Rivadeneira Obllitas
Téc. Laboratorio USAT

Anexo17: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso



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



ENSAYO DE AGREGADOS PARA DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MÉTODO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO

NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88 MTC E 209

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Piedra chancada 1/2"
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

EXAMEN CUANTITATIVO

I.- DATOS :

TAMICES		PORCENTAJE DE PÉRDIDA PESADO
PASA	RETIENE	
2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	
1 1/2" 37.5 mm	3/4" 19 mm	
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	9.9
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	3.2
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	3.2

II.- RESULTADO :

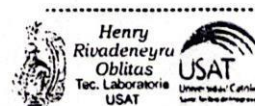
DESGASTE TOTAL (%)	16.3
--------------------	------

OBSERVACIONES :

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



TECNICO DE LABORATORIO



Anexo18: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino



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



ENSAYO DE AGREGADOS PARA DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MÉTODO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO

NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88 MTC E 209

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

EXAMEN CUANTITATIVO

I.- DATOS

TAMICES		PORCENTAJE DE PÉRDIDA PESADO
PASA	RETIENE	
3/8"	Nº 4	0.7
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	1.0
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	0.9
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	0.8
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.4
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	1.4
300 µm	150 µm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL (%)	7.6
--------------------	-----

OBSEVACIONES:

- 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.



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Téc. Laboratorio
USAT

Anexo19: Azul de metileno



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



AZUL DE METILENO

(NORMA: AASHTO TP 57)

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
MUESTRA	: Arena zarandeada
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
	Cada	NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	1	-	8
		7.0	5.0	1		

RESULTADOS
PROMEDIOS : 1

FORMULA DE APLICACIÓN

$$AM = C_{sol} / p_{finos}$$



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Téc. Laboratorio
USAT

Anexo20: Granulometría de ceniza de mazorca de maíz



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

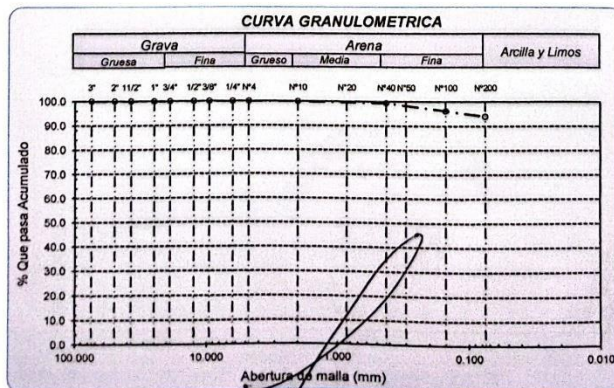


TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
MUESTRA	: Ceniza de mazorca de maíz
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

ENSAYO : Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.


NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Muestra				Ceniza			
Análisis Granulométrico por tamizado							
Nº Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados		Nº DE GOLPES	CURVA DE FLUIDEZ		
		% Retenido	pasa				
3"	75.000	0.0	100.0	10	100		
2"	50.000	0.0	100.0				
1 1/2"	37.500	0.0	100.0				
1"	25.000	0.0	100.0				
3/4"	19.000	0.0	100.0				
1/2"	12.500	0.0	100.0				
3/8"	9.500	0.0	100.0				
1/4"	6.300	0.0	100.0				
Nº 4	4.750	0.0	100.0				
Nº 10	2.000	0.1	99.9				
Nº 20	0.850	0.1	99.9				
Nº 40	0.425	0.6	99.4				
Nº 50	0.300	1.3	98.7				
Nº 100	0.150	3.8	96.2				
Nº 200	0.075	6.1	93.9				
Distribución granulométrica							
% Grava	G.G. %	0.0	0.0				
	G.F. %	0.0					
% Arena	A.G. %	0.1					
	A.M. %	0.5					
	A.F. %	5.5	6.1				
% Arcilla y Limo		93.9	93.9				
Total			100.0				
Contenido de Humedad			33.6				




USAT
 TECNICO BY: [Signature]
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica del Perú

Anexo21: Ensayo Marshall, diseño del 4% de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente, determinado por tamizado



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



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

TESISTA : Tarnillo Montenegro Susan Mireylli
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR : Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN : Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandada 5mm	59%
Cemento (Filler)	1%

Peso de muestra	1425
Peso de C.A.	60 4.00%
Peso del cemento	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500


1410.75 14.25

1425

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.58
B Arena	57.77	52.68
C Filler	1	7.74

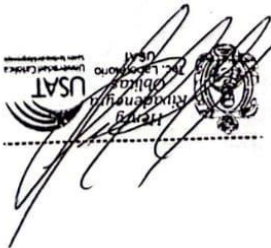
% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueña	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	39.58	39.58	39.58	39.58	39.58	39.58	39.58	39.58	39.58
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.68	52.68	52.68	52.68	52.68	52.68	52.68	52.68	52.68
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% paso malla #200)	%	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Almira promedio de la briqueña	cm.	6.618	6.047	7.786	7.061	6.392	6.85	7.16	6.97	
13	Peso de la briqueña en el aire	gr.	1173	1089	1340	1204	1150	1260	1290	1262	
14	Peso de la briqueña saturada superficialmente seca	gr.	1189	1104	1356	1222	1167	1275	1302	1269	
15	Peso de la briqueña en el agua	gr.	699.9	655.4	808.93	738.9	709.55	751.7	787.5	773.03	
16	Volumen de la briqueña 14-15	c.c.	488.7	448.7	547.67	483.3	458.15	524.2	515.4	496.77	
17	Peso unitario de la briqueña 13-16	gr/cc.	2.401	2.428	2.447	2.493	2.512	2.405	2.503	2.541	2.466
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100 ((2.65*(3*2*(7+8)+(4*2*(9+10)))	gr/cc.	2.508	2.508	2.508	2.508	2.508	2.508	2.508	2.508	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 509)	%	5.72	4.66	3.89	2.08	1.35	5.55	1.68	0.21	3.14
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2)/((3*7)+(4*9)+(5*11))	gr/cc.	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	2.643	
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2)/((3*8)+(4*10)+(5*11))	gr/cc.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3*P ₁)+(4*P ₂ +10))	gr/cc.	2.688	2.688	2.688	2.688	2.688	2.688	2.688	2.688	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueña (3+4)*17/21	%	86.32	87.30	88.00	89.65	90.32	86.48	90.02	91.37	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueña 100-(25+20)	%	7.96	8.05	8.11	8.26	8.33	7.97	8.30	8.42	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	13.68	12.70	12.00	10.35	9.68	13.52	9.98	8.63	11.32
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	
29	Relación betún vacíos (26-27)*100	%	58.17	63.35	67.61	79.86	86.02	58.95	83.15	97.57	106.21
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2468	2567	1986	2235	3012	3027	3338	2553	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.25	0.89	0.89	1.19	0.96	1.00	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2468	2567	1986	2235	3012	3027	3338	2553	2648
33	Lectura del flexómetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	28	33	32	31	32	35	30	34	32
34	Fluencia	m.m.	7.11	8.38	8.13	7.87	8.13	8.89	7.62	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3470	3063	2443	2838	3706	3405	4381	2956	3283



USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TECNICO DE LABORATORIO



Anexo22: Ensayo Marshall, diseño del 4.5% de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente, determinado por tamizado



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



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 4.50%
Peso del cemento	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.37
B Arena	57.77	53.26
C Filler	1	7.37

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Número de briqueta								
2	% C.A. en peso de la mezcla								
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)								
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)								
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla # 200)								
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico								
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)								
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)								
9	Peso específico Bulk de la arena (-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)								
10	Peso específico Aparente de la arena (-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)								
11	Peso específico aparente del filler								
12	Altura promedio de la briqueta								
13	Peso de la briqueta en el aire								
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca								
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C								
16	Volumen de la briqueta 14-15								
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)								
18	Peso específico teórico máximo (Ricc) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)								
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100 ((2.65*(3*2*(7+8))+(4*2*(9+10)))								
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)								
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2) ((3.7*(4.9)+(5.11))								
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2) ((3.8)+(4.10)+(5.11))								
23	Peso específico efectivo del agregado total (3-4) ((3.7-8)+(4.9-10))								
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)								
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21								
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)								
27	% vacíos del agregado mineral 100-25								
28	Asfalto efectivo - peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)								
29	Relación betón vacíos (26/27)*100								
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)								
31	Factor de estabilidad								
32	Estabilidad corregida 31*32								
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)								
34	Fluencia								
35	Relación Estabilidad / Fluencia								



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo23: Ensayo Marshall, del 5% de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente, determinado por tamizado



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



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

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1410
Peso de C.A	75 5.00%
Peso del cemento	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	38.92
B Arena	57.77	51.71
C Filler	1	9.38

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.71	51.71	51.71	51.71	51.71	51.71	51.71	51.71	51.71
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm	5.972	6.146	6.155	6.341	6.57	6.455	6.819	6.528	6.528
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1065	1082	1103.3	1145	1193	1156.4	1210	1118	1118
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1099	1096	1120.1	1162	1214	1180.8	1224	1137	1137
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	650.6	648.9	674.7	717.0	755.6	721.5	755.3	689.5	689.5
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	448.8	447.4	445.4	444.7	458	459.3	468.3	447.3	447.3
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.374	2.419	2.477	2.575	2.604	2.518	2.584	2.500	2.506
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612	2.612
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100 ((2.6)/(3.2*(7-8))+(4.2*(9-10))) (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc.	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18)	%	9.11	7.37	5.14	1.39	0.28	3.60	1.07	4.28	4.03
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646	2.646
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/(3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690	2.690
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/7-8)+(4/9-10))	gr/cc.	2.848	2.848	2.848	2.848	2.848	2.848	2.848	2.848	2.848
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	83.84	85.45	87.50	90.96	91.99	88.93	91.26	88.30	88.30
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	7.05	7.18	7.35	7.64	7.73	7.47	7.67	7.42	7.42
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.16	14.55	12.50	9.04	8.01	11.07	8.74	11.70	11.47
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	43.60	49.35	58.84	84.58	96.50	67.48	87.76	63.43	68.94
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2365	2888	2462	3054	2956	3133	3450	2252	2252
31	Factor de estabilidad		1.25	1.25	1.25	1.25	1.19	1.19	1.19	1.25	1.25
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2956	3610	3078	3818	3518	3728	4106	2815	3453
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	35	34	32	29	32	36	32	33	33
34	Fluencia	m.m.	8.89	8.64	8.13	7.37	8.13	9.14	8.13	8.38	8.38
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3325	4180	3786	5183	4328	4077	5051	3358	4161



Anexo24: Ensayo Marshall, diseño del 5.5% de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente, determinado por tamizado



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



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

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler*
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5 5.50%
Peso del cemento	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	38.92
B Arena	57.77	51.23
C Filler	1	9.85

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°80	N°200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briquea	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (marvor #4)	%	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.23	51.23	51.23	51.23	51.23	51.23	51.23	51.23	51.23
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briquea	cm	5.851	6.102	6.575	6.13	6.621	5.545	6.48	6.216	6.216
13	Peso de la briquea en el aire	gr	1019	1091	1168.3	1102	1185	983.4	1157	1143	1143
14	Peso de la briquea sumada superficialmente seca	gr	1031.9	1108	1182.0	1119	1199	987.0	1172	1167	1167
15	Peso de la briquea en el agua	gr	586.0	660.2	724.6	674.6	722.1	542.2	727.2	719.6	719.6
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	445.9	447.5	457.4	444.5	477.2	444.8	444.8	447.3	447.3
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.285	2.438	2.554	2.478	2.483	2.211	2.602	2.556	2.451
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.603	2.603	2.603	2.603	2.603	2.603	2.603	2.603	2.603
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2.603*(7+8)+(4*2*(9+10)))	gr/cc	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462
20	% de vacíos con aire 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	12.22	6.34	1.87	4.79	4.62	15.06	0.05	1.83	5.85
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3*7)+(4*9)+(5/11))	gr/cc	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3*8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.704	2.704	2.704	2.704	2.704	2.704	2.704	2.704	2.704
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3*7+8)+(4*9+10))	gr/cc	2.837	2.837	2.837	2.837	2.837	2.837	2.837	2.837	2.837
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	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briquea (5+4)*17/21	%	80.30	85.67	89.76	87.09	87.24	77.70	91.42	89.80	89.80
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea 100-(25+20)	%	7.49	7.99	8.37	8.12	8.13	7.24	8.52	8.37	8.37
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.70	14.33	10.24	12.91	12.76	22.30	8.58	10.20	13.88
28	Asfalto efectivo - peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43
29	Relación entre vacíos (26-27)*100	%	37.99	55.73	81.76	62.89	63.76	32.48	99.40	82.09	64.51
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2395	2572	3265	2812	3003	2995	3464	2486	2486
31	Factor de estabilidad	1.25	1.25	1.19	1.25	1.14	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2994	3215	3885	3515	3423	3744	4330	3108	3527
33	Lectura del flexómetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	32	30	29	29	30	32	34	36	32
34	Fluencia	m.m.	8.13	7.62	7.37	7.37	7.62	8.13	8.64	9.14	9.14
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3683	4219	5275	4772	4493	4606	5014	3398	4433



Anexo25: Ensayo Marshall, diseño del 6% de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente, determinado por tamizado



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



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maiz como sustituto parcial del filler*
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1395
Peso de C.A	90 6.00%
Peso del cemento	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	38.92
B Arena	57.77	46.80
C Filler	1	14.28

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº60	Nº200	
Mezcla	100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueja	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92	38.92
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	46.80	46.80	46.80	46.80	46.80	46.80	46.80	46.80	46.80
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565
9	Peso específico Bulk de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altera promedio de la briqueja	cm	6.229	5.764	6.321	6.039	5.833	6.318	6.234	6.223	6.223
13	Peso de la briqueja en el aire	gr	1160	1079	1178.1	1120	1074	1190.4	1140	1139	1139
14	Peso de la briqueja saturada superficialmente seca	gr	1168	1189	1189.9	1137	1090	1199.3	1153	1151	1151
15	Peso de la briqueja en el agua 25 °C	gr	658.4	743.9	725.91	691.2	645.5	743.62	707.5	699.3	699.3
16	Volumen de la briqueja 14-15	c.c.	509.8	445.3	463.99	446.1	444	455.68	445.0	451.2	451.2
17	Peso unitario de la briqueja 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.275	2.424	2.539	2.510	2.420	2.612	2.561	2.525	2.483
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209 MTC E 508)	gr/cc	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	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	2.571	2.571	2.571	2.571	2.571	2.571	2.571	2.571	2.571
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	18.65	13.32	9.20	10.25	13.47	6.58	8.40	9.69	11.19
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843	2.843
23	Peso específico efectivo del agregado total (3-4)/((3/7-8)+(4/9-10))	gr/cc	3.086	3.086	3.086	3.086	3.086	3.086	3.086	3.086	3.086
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44
25	% del vol. Del Agregado / Volumen Bruto de la briqueja (3-4)*17/21	%	76.04	81.03	84.88	83.89	80.88	87.33	85.62	84.42	84.42
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueja 100-(25+20)	%	5.31	5.66	5.93	5.86	5.65	6.10	5.98	5.90	5.90
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	23.96	18.97	15.12	16.11	19.12	12.67	14.38	15.58	16.99
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	22.17	29.82	39.19	36.37	29.54	48.11	41.57	37.83	99.04
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3078	3085	2920	2773	2675	3145	2326	2844	2844
31	Factor de estabilidad	1.00	1.25	1.19	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3078	3856	3475	3466	3344	3931	2908	3555	3452
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil	30	30	32	29	30	29	32	35	31
34	Fluencia	m.m.	7.62	7.62	8.13	7.37	7.62	7.37	8.13	8.89	8.89
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	4039	5061	4275	4706	4388	5337	3577	3999	4423



Henry Roldanegra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT

Anexo26: Gravedad específica de mezcla bituminosa (Rice)



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



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	575	575	575	575	575
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2657	2778	2577	2693	2705
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1731	1892	1672	1778	1884
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4087.8	4258.3	4036.2	4158.8	4181.5
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2357	2366	2364	2381	2298
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	926	886	905	915	822
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.546	2.672	2.612	2.603	2.796



Henry Avadenebra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo27: Resultados de parámetros Marshall optimo contenido de asfalto 5.3%



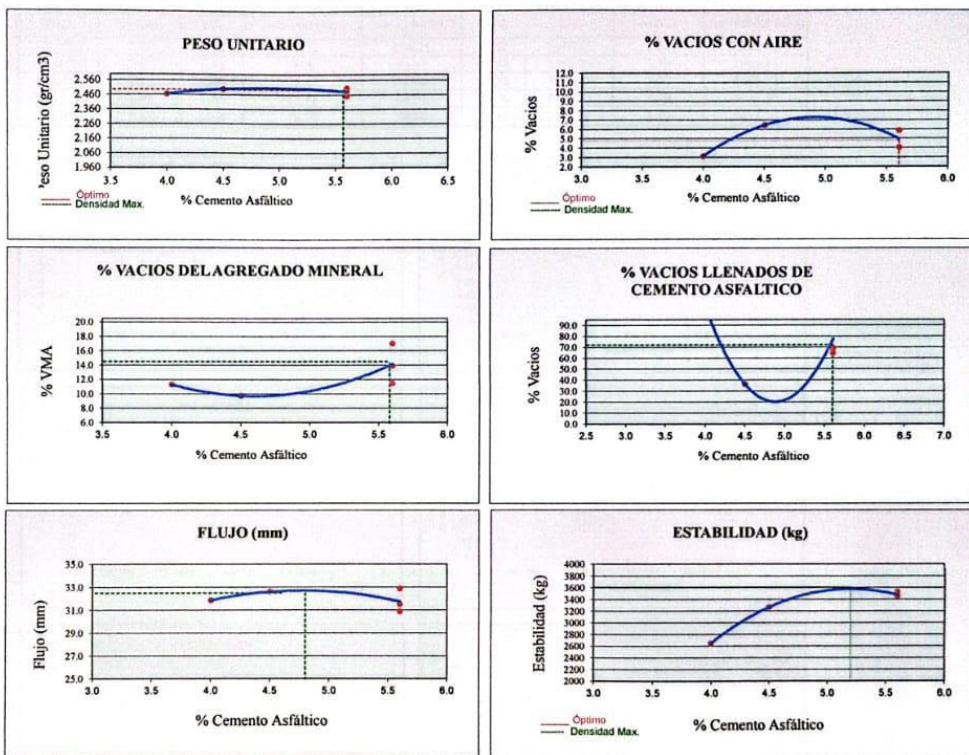
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014



RESULTADOS	
Optimo Contenido C.A	5.30
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.495
Vacios (%)	4.80
Vacios del Agregado mineral (%)	14.50
Vacios Llenados de C.A (%)	72.00
Flujo (mm)	8.26
Estabilidad (Kg)	3620
Relación Polvo Asfalto	1.19

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

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo28: Ensayo Marshall, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 sin adición



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



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

TESISTA : Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR : Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40.00%
Arena zarandada 5mm	59.00%
Cemento (Filler)	1.00%
Ceniza de mazorca de maíz	0.00%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1405.5
Peso de C.A	79.5 5.30%
Peso del cemento	15
Ceniza de mazorca de maíz	0
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.21
B Arena	57.77	52.57
C Filler	1	8.23

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Nº	Descripción	U	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Numero de briqueta										
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.57	52.57	52.57	52.57	52.57	52.57	52.57	52.57	52.57
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
9	Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10	Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
12	Alguna promedio de la briqueta	cm	5.721	6.28	5.98	5.83	6.09	6.66	6.43	6.55	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr	1065	1153	1078	1080	1138	1210	1093	1188	8
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1068	1155	1083	1083	1142	1214	1101	1195	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr	595.2	616.8	589.83	582.5	587.4	615.16	590.1	664.32	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c	472.8	538.6	494.07	501.3	555.4	599.04	510.9	530.68	
17	Peso unitario de la briqueta 13-16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.252	2.140	2.182	2.155	2.050	2.020	2.140	2.240	2.147
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246	2.246
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/(2.6)+(3*2)+(7*8)+(4*2)+(9*10)	gr/cc	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18)	%	-0.29	4.70	2.82	4.01	8.69	10.05	4.72	0.24	4.37
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3-7)+(4-9)+(5-11))	gr/cc	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3-8)+(4-10)+(5-11))	gr/cc	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383	2.383
23	Peso específico efectivo del agregado total (3-4)/((3-7-8)+(4-9-10))	gr/cc	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3-4)*17/21	%	89.86	85.39	87.07	86.00	81.81	80.60	85.37	89.38	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	10.43	9.91	10.11	9.99	9.50	9.36	9.91	10.38	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	10.14	14.61	12.93	14.00	18.19	19.40	14.63	10.62	14.32
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68
29	Relación betún vacíos (26-27)*100	%	102.86	67.85	78.16	71.33	52.22	48.22	67.74	97.75	73.27
30	Estabilidad sin corrector (tabla de calibración del anillo)	kg	2682	2583	2218	2650	2590	2922	1668	2314	
31	Factor de estabilidad		1.14	0.93	1.09	1.09	1.04	1.04	1.09	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2682	2583	2218	2650	2590	2922	1668	2314	2453
33	Declinación del flexímetro (0.01") (35-0.234)	mil	31	34	36	33	34	35	32	33	34
34	Fluencia	m.m.	7.87	8.64	9.14	8.38	8.64	8.89	8.13	8.38	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3406	2991	2426	3162	2999	3287	2052	2761	2885



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo29: Ensayo Marshall, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30+25% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyh
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler*
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40.00%
Arena zarandada 5mm	59.00%
Cemento (Filler)	0.75%
Ceniza de mazorca de maíz	0.25%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1405.5
Peso de C.A.	79.5 5.30%
Peso de cemento	11.25
Ceniza de mazorca de maíz	3.75
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.21
B Arena	57.77	39.73
C Filler	1	21.07

% Que Pass el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	Mezcla
Especificaciones IVB	Especificaciones IVB

1	Numero de briqueita	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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.	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.300
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	Altura promedio de la briqueita	cm.	5.7	6.01	5.8	5.9	5.99	5.93	5.33	5.7	5.7
13	Peso de la briqueita en el aire	gr.	1065	1075	1065.0	1068	1094	992.2	997.4	1081	1081
14	Peso de la briqueita saturada superficialmente seca	gr.	1039	1074	1054.5	1077	1103	1004.5	1003	1087	1087
15	Peso de la briqueita en el agua	gr.	590.9	630.7	608.28	645.3	659.7	608.83	594.7	651	651
16	Volumen de la briqueita 14-15	c.c.	447.7	442.9	446.22	431.6	443.3	395.67	408.1	436.3	436.3
17	Peso unitario de la briqueita 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.380	2.427	2.387	2.474	2.468	2.508	2.444	2.479	2.446
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100((2.6)/(3*2)+(7*8)+(4*2*(9+10)))	gr/cc.	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 305)	%	8.47	6.65	8.19	4.84	5.06	3.54	5.98	4.66	5.92
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3*7)+(4*9)+(5*11))	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3*8)+(4*10)+(5*11))	gr/cc.	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3*7)+(4*9)+(5*11))	gr/cc.	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796	2.796
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueita (3+4)*17/21	%	81.66	83.28	81.91	84.90	84.70	86.06	83.88	85.06	85.06
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueita 100-(25+20)	%	9.87	10.07	9.90	10.26	10.24	10.40	10.14	10.28	10.28
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	18.34	16.72	18.09	15.10	15.30	13.94	16.12	14.94	16.07
28	Asfalto efectivo peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
29	Relacion betun vacios (26-27)*100	%	53.83	60.21	54.73	67.96	66.91	74.61	62.88	68.82	63.74
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2446	1731	3052	2312	2270	1700	2072	2661	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.19	1.25	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3058	2060	3815	2751	2701	2023	2466	3167	2755
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	mil	40	34	32	34	38	42	34	30	36
34	Fluencia	m.m.	10.16	8.64	8.13	8.64	9.65	10.67	8.64	7.62	
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	3009	2185	4694	3186	2799	1896	2855	4156	3122



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo30: Ensayo Marshall, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30+ 50% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



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

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler*
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40.00%
Arena zarandeada 5mm	59.00%
Cemento (Filler)	0.50%
Ceniza de mazorca de maíz	0.50%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1405.5
Peso de C.A	79.5 5.30%
Peso del cemento	7.5
Ceniza de mazorca de maíz	7.5
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.21
B Arena	57.77	52.09
C Filler	1	8.70

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Numero de briqueta	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.09	52.09	52.09	52.09	52.09	52.09	52.09	52.09	52.09
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
6	Peso especifico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8	Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
9	Peso especifico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10	Peso especifico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
11	Peso especifico aparente del filler	gr/cc	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	Altura promedio de la briqueta	cm	6.5	6.7	6.7	5.9	5.7	6.08	6.05	6.2	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr	1142.7	1158	1106.7	1047	1046	1153.7	1077	1133	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1149.7	1165	1111.9	1051	1051	1158.9	1088	1140	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr	640.8	635.7	601.9	581.3	585.9	646.7	614.0	630.1	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	508.9	528.8	510	469.5	464.6	512.2	473.6	509.4	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.245	2.189	2.170	2.229	2.251	2.252	2.274	2.223	2.230
18	Peso especifico teorico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	
19	Máxima densidad teorica de los agregados 100 ((2.6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	gr/cc	2.313	2.313	2.313	2.313	2.313	2.313	2.313	2.313	
20	% de vacios con aire 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.75	6.16	6.98	4.44	3.51	3.45	2.53	4.69	4.44
21	Peso especifico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	
22	Peso especifico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.396	2.396	2.396	2.396	2.396	2.396	2.396	2.396	
23	Peso especifico efectivo del agregado total (3+4)/((3/7*8)+(4/9*10))	gr/cc	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	
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	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	86.32	84.15	83.42	85.69	86.53	86.58	87.40	85.47	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	9.94	9.69	9.61	9.87	9.96	9.97	10.06	9.84	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	13.68	15.85	16.58	14.31	13.47	13.42	12.60	14.53	14.31
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	
29	Relacion betun vacios (26.27)*100	%	72.63	61.14	57.93	68.94	73.95	74.28	79.90	67.73	69.56
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1276	1702	1890	2141	1832	19660	2010	2001	
31	Factor de estabilidad		1.00	0.96	1.00	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1276	1634	1890	2334	2180	24575	2191	2381	4808
33	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	37	35	38	35	35	32	35	48	37
34	Fluencia	m.m.	9.40	8.89	9.65	8.89	8.89	8.13	8.89	12.19	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1358	1838	1958	2625	2452	30235	2464	1953	5610



Henry Rivadeneira Oblitas
 USAT
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Ensayos de Materiales

Anexo31: Ensayo Marshall, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30+75% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



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

TESISTA	: Tarrilo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler*
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40.00%
Arena zarandeada 5mm	59.00%
Cemento (Filler)	0.25%
Ceniza de mazorca de maíz	0.75%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1405.5
Peso de C.A	79.5 5.30%
Peso del cemento	3.75
Ceniza de mazorca de maíz	11.25
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.21
B Arena	57.77	49.24
C Filler	1	11.56

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Número de briquea								
2	C.A. en peso de la mezcla	% 4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	% 39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	% 49.24	49.24	49.24	49.24	49.24	49.24	49.24	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	% 5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	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. 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	
12	Altura promedio de la briquea	cm. 5.9	6.59	6.9	5.29	6.06	5.56	6.1	6.2
13	Peso de la briquea en el aire	gr. 869.4	1235	1089.7	982.7	1052	966.8	1064	1101
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr. 876.5	1240	1098.3	987.9	1057	973.4	1070	1111
15	Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr. 425.6	697.7	613.7	537.0	578	527.5	588.6	621.7
16	Volumen de la briquea 14-15	e.c. 450.9	542.4	484.6	450.9	478.8	446	481.2	489
17	Peso unitario de la brimeza 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 1.928	2.277	2.249	2.179	2.197	2.168	2.211	2.252
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100((2.6)/(3*2.7)+8)+(4*2.6/10)	gr/cc. 2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379
20	% de vacíos con aire 100*((1-17)/18)	% 17.34	2.38	3.61	6.58	5.81	7.07	5.20	3.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/7)+8)+(4*2.6/10)	gr/cc. 2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% -0.91	-0.91	-0.91	-0.91	-0.91	-0.91	-0.91	-0.91
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briquea (3+4)*17/21	% 71.81	84.81	83.74	81.16	81.82	80.73	82.35	83.86
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea 100-(25+20)	% 10.85	12.82	12.65	12.26	12.36	12.20	12.44	12.67
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 28.19	15.19	16.26	18.84	18.18	19.27	17.65	16.14
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71
29	Relación beas vacíos (26.27)*100	% 38.49	84.34	77.83	65.08	68.03	63.32	70.51	78.52
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1395	2732	2634	2194	2476	2672	2518	186
31	Factor de estabilidad	kg 1.25	0.93	1.09	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1744	2541	2871	2391	2946	3340	2745	221
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	m.m. 28	32	30	35	32	33	30	29
34	Fluencia	m.m. 7.11	8.13	7.62	8.89	8.13	8.38	7.62	7.37
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 2452	3126	3768	2690	3625	3985	3602	300



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

Anexo32: Ensayo Marshall, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 + 100% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESISTA	: Tarrilo Montenegro Susan Mireyri
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN:	Chiclayo, 14 de junio del 2014

Piedra chancada 1/2"	40.00%
Arena zarandeada 5mm	59.00%
Cemento (Filler)	0.00%
Ceniza de mazorca de maíz	1.00%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de muestra	1405.5
Peso de C.A	79.5 5.30%
Peso del cemento	0
Ceniza de mazorca de maíz	15
Peso total de la mezcla asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	41.23	39.21
B Arena	57.77	51.14
C Filler	1	9.66

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	78.5	68.7	58.8	43.9	16.9	7.7	4.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1 Número de briqueata									
2 C.A. en peso de la mezcla	% 4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	% 39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21	39.21
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	% 51.14	51.14	51.14	51.14	51.14	51.14	51.14	51.14	51.14
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	% 3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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. 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc. 2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12 Altura promedio de la briqueata	cm. 5.69	6.13	6.11	6.5	6.24	6.13	5.5	6.4	
13 Peso de la briqueata en el aire	gr. 1022	1088	1121.2	1169	1137	1118.9	999.4	1196	
14 Peso de la briqueata saturada superficialmente seca	gr. 1030	1095	1126.6	1179	1142	1125.2	1004	1206	
15 Peso de la briqueata en el agua 25 °C	gr. 556.1	593	630.4	650.5	632.1	620.5	551.5	687	
16 Volumen de la briqueata 14-15	c.c. 473.8	502.1	496.2	528.7	510.3	504.7	452.8	518.6	
17 Peso unitario de la briqueata 13-16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.157	2.167	2.260	2.211	2.228	2.217	2.207	2.306	2.219
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100 ((2.6)/(3.2)(7-8) + (4.2)(9+10))	gr/cc. 2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	
20 % de vacíos con aire 100*((17-18)) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 7.52	7.11	3.14	5.24	4.48	4.96	5.39	1.16	4.87
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3.7)+(4.9)+(5.11))	gr/cc. 2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3.8)+(4.10)+(5.11))	gr/cc. 2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3-4)/((3.7-8)+(4.9+10))	gr/cc. 2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% -0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	
25 % del vol del Agregado / Volumen bruto de la briqueata (3-4)*1721	% 82.07	82.43	85.95	84.09	84.77	84.33	83.95	87.71	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata 100-(25+20)	% 10.41	10.46	10.91	10.67	10.76	10.70	10.65	11.13	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	% 17.93	17.57	14.05	15.91	15.23	15.67	16.05	12.29	15.59
28 Asfalto efectivo - peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	
29 Relacion betan vacíos (26.27)*100	% 58.08	59.54	77.65	67.06	70.61	68.31	66.38	90.59	69.78
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 2442	2468	2805	2632	3643	3216	2563	3389	
31 Factor de estabilidad	1.14	1.04	1.04	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg 2784	2567	2917	2869	4335	4020	2794	4033	3290
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 36	38	33	34	31	32	31	36	34
34 Fluencia	m.m. 9.14	9.65	8.38	8.64	7.87	8.13	7.87	9.14	
35 Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m. 3044	2659	3480	3322	5506	4946	3548	4410	3865



Henry Rivudeneys Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo33: Gravedad especifica de mezcla bituminosa (Rice)



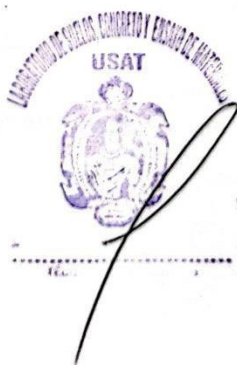
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



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

TESISTA : Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR : Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN : Chiclayo, 14 de junio del 2014

PORCENTAJE DE ASFALTO	0%	25.0%	50%	75.0%	100.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2613	2613	2613	2613	2613
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1945	2036	1970	2004	2028
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3445.0	3536.0	3470.0	3504.0	3528.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	668	577	643	609	585
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.246	2.600	2.333	2.463	2.564



Anexo34: Resultados Marshall obtenidos en el diseño de mezclas asfálticas con adición de ceniza



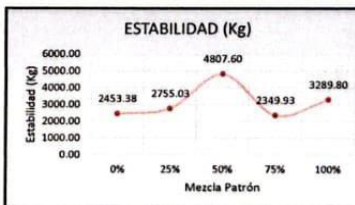
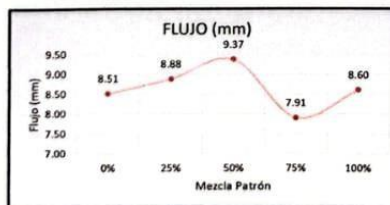
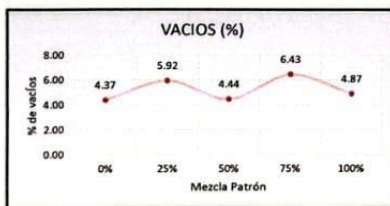
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON VARIACIONES EN EL PORCENTAJE DE CENIZA DE MAZORCA DE MAÍZ

TESISTA	: Tarrillo Montenegro Susan Mireyli
CANTERA	: Tres Tomas - Ferrefafe
TESIS	: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler"
LUGAR	: Chiclayo-Lambayeque
FECHA DE EMISIÓN	: Chiclayo, 14 de junio del 2014

RESULTADOS								
Relación Pen filler	Peso unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación polvo asfalto	Relación estabilidad flujo
0%	2.15	4.37	14.32	73.27	8.51	2453.38	1.19	2885.38
25%	2.45	5.92	16.07	16.07	8.88	2755.03	1.19	3122.48
50%	2.23	4.44	14.31	69.56	9.37	4807.60	1.19	5610.46
75%	2.18	6.43	18.72	68.26	7.91	2349.93	1.19	2943.47
100%	2.22	4.87	15.59	69.78	8.60	3289.80	1.19	3864.50



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. LABORATORIO USAT

Anexo35: Ensayo de tracción indirecta, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 sin adición



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



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

TESIS : Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler.
CANTERA : Tres Tomas - Ferretafe
TESISTA : Tarrillo Montenegro Susan Mireyli

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	1%
Ceniza de mazorca de maíz	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 5.30	

MUESTRA PATRON 0% Pesado

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS				Prom.	MUESTRAS SECAS				Prom.	
		1	2	3	4		5	6	7	8		
- Número de briqueta												
D Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16		
t Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1		
A Peso de la muestra Secca al Aire	gr	1133.2	1130.3	1101.7	1144.9	1121.7	1084.6	1139.8	1077.9	1134.3	1100.8	
B SSD de la Muestra	gr	1137.00	1135.00	1105.00	1151.00		1090.00	1145.00	1085.00	1139.00		
C Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	693.09	654.36	698.63		588.87	677.11	621.83	593.36		
E Volumen (B - C)	cc	458.6	441.9	450.6	452.4		501.1	467.9	463.2	545.6		
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.471	2.558	2.445	2.531	2.5	2.164	2.436	2.327	2.079	2.3	
G Peso específico técnico máximo (Rice)	gr/cc	2.726	2.726	2.726	2.726	2.7	2.726	2.726	2.726	2.726	2.7	
H % de vacíos ((G - F)/G)*100	%	9.37	6.18	10.33	7.17	8.6	20.61	10.65	14.64	23.75	15.3	
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	42.98	27.32	46.54	32.42		103.30	49.81	67.80	129.58		

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	1176.60	NO SE EJECUTA
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	585.00	652.00	575.00	652.00	
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	565.4	518.7	534.8	524.6	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	17.2	40.4	8.1	31.7	
- Saturación (100*J'/I)	%	40.0	147.9	17.4	97.8	
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	23.28	17.38	18.68	15.97	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t" Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	NO SE EJECUTA				
B" SSD de la Muestra	gr	1163.90	1166.50	1141.80	1185.80					
C" Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00					
E" Volumen (B" - C")	cc	485.9	546.5	509.8	605.8					
J" Volumen de Agua de Absorción (B" - A)	cc	30.7	36.2	40.1	40.9					
- Saturación (100*J"/I)	%	71.4	132.5	86.2	126.2					
- Hinchamiento (E" - E)*100/E	%	4.82	20.16	11.06	29.25					
- Carga Máxima N	N	2893.950	2795.850	3188.250	2893.950					
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.84	2.63	2.95	2.68					
							320	320.0	375	310

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 80.959%

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

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo36: Ensayo de tracción indirecta, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 + 25% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EVALUADO CON EL TEST DE LOTTMAN MODIFICADO (MTC E - 522) (AASHTO T 283)

TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
 CANTERA : Tres Tomas - Ferrehafe
 TESISTA : Tarnilo Montenegro Susan Mireylli

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	0.75%
Ceniza de mazorca de maíz	0.25%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

MUESTRA PATRON 25% Pesado

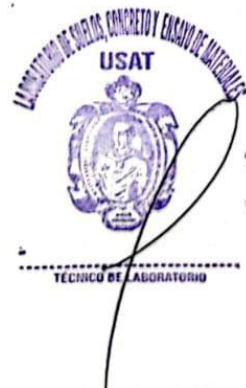
DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS				Prom.	MUESTRAS SECAS				Prom.
		1	2	3	4		5	6	7	8	
D Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
I Espesor	cm	5.65	5.725	5.61	5.725		6.005	6.53	5.99	6.1315	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1117.6	1160.1	1120.3	1119.9	1132.7	1033.2	1005.8	1017.8	1058.8	1018.9
B SSD de la Muestra	gr	1123.10	1166.50	1123.50	1123.50		1039.30	1014.30	1024.80	1065.50	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	578.36	593.09	554.36	598.63		528.87	527.11	521.83	593.36	
E Volumen (B - C)	cc	544.7	573.4	569.1	524.9		510.4	487.2	503.0	472.1	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.052	2.023	1.968	2.134	2.0	2.024	2.064	2.024	2.243	2.0
G Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.301	2.301	2.301	2.301	2.3	2.301	2.301	2.301	2.301	2.3
H % de vacíos ((G - F)/G)*100	%	10.82	12.06	14.44	7.26	12.4	12.02	10.26	12.04	2.52	11.4
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	58.96	69.15	82.18	38.09		61.33	50.00	60.57	11.91	

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	1121.40	1168.10	1128.80	1129.40		NO SE EJECUTA				
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	485.00	452.00	455.00	552.00						
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	636.4	716.1	673.8	577.4						
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	3.8	8.0	8.5	9.5						
- Saturación (100*J'/I)	%	6.4	11.6	10.3	24.9						
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	16.83	24.88	18.39	10.01						

Condiciones de Saturación Per 24 Hrs. En Agua a 60°C - Baño de María											
I* Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		NO SE EJECUTA				
B* SSD de la Muestra	gr	1147.60	1200.00	1149.60	1152.00						
C* Peso de la Muestra en Agua	gr	578.00	590.00	552.00	590.00						
E* Volumen (B* - C*)	cc	569.6	610.0	597.6	562.0						
J* Volumen de Agua de Absorción (B* - A)	cc	30.0	38.9	29.3	32.1						
- Saturación (100*J'/I)	%	50.9	57.7	35.7	84.3						
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	3.91	5.11	4.22	6.43						
- Carga Máxima Kg	kg	307	265	270	242		328	335.0	250	300	
- Carga Máxima N	N	3011.670	2599.650	2648.700	2374.020	2658.510	3217.680	3286.350	2452.500	2943.000	2974.9
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.96	2.44	2.45	2.20	2.51	3.42	3.21	2.62	3.07	3.08

RAZÓN DEL ESPUEZO A TENSION (TRS) = 81.393%

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



Anexo37: Ensayo de tracción indirecta, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 + 50% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE HOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECHNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



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

TESES: "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
CANTERA: Tres Tomas - Ferretafe
TESISTA: Tarrillo Montenegro Susan Mireylli

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandada 4mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	0.50%
Ceniza de mazorca de maíz	0.50%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	5.30

MUESTRA PATRON 50% Pesado

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS				Prom.	MUESTRAS SECAS				Prom.
		1	2	3	4		5	6	7	8	
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
I Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A Peso de la muestra Secca al Aire	gr	1063.7	1069.0	1130.3	906.0	1087.7	1005.5	1087.6	1050.9	967.3	1048.0
B SSD de la Muestra	gr	1069.10	1073.90	1136.60	911.70		1011.10	1093.30	1057.30	974.40	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	628.36	623.09	654.36	528.63		588.87	627.11	621.83	553.36	
E Volumen (B - C)	cc	440.7	450.8	482.2	383.1		422.2	466.2	435.5	421.0	
F Peso específico Bulk de la brqueta (A/E)	gr/cc	2.413	2.371	2.344	2.365	2.4	2.381	2.333	2.413	2.297	2.4
G Peso específico teorico máximo (Rice)	gr/cc	2.547	2.547	2.547	2.547	2.5	2.547	2.547	2.547	2.547	2.5
H % de vacios ((G - F)/G)*100	%	5.23	6.89	7.96	7.13	6.7	6.49	8.39	5.24	9.79	6.7
I Volumen de vacios ((H*E)/100)	cc	23.06	31.05	38.41	27.31		27.40	39.13	22.82	41.21	

Muestra Saturada en Vacios 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	921.50	NO SE LECTUA
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	565.00	581.00	585.00	506.00	
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	511.1	505.6	562.9	415.5	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	12.4	17.6	17.6	15.5	
- Saturación (100*J'/I)	%	53.8	56.7	45.8	56.7	
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	15.96	12.15	16.73	8.47	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
L' Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	NO SE LECTUA				
B'' SSD de la Muestra	gr	1078.30	1084.80	1145.70	949.50					
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	622.00	620.00	552.00	520.00					
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	456.3	464.8	593.7	429.5					
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	14.6	15.8	15.4	43.5					
- Saturación (100*J''/I)	%	63.3	50.9	40.1	159.3					
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	3.04	2.77	19.80	11.17					
- Carga Máxima Kg	kg	305	315	325	305	346	354.0	345	325	3359.9
- Carga Máxima N	N	2992.050	3090.150	3188.250	2992.050	3065.625	3394.260	3472.740	3384.450	3188.250
- Fuerza Tenable KPA	kg/cm2	2.94	2.90	2.95	2.77	2.89	3.59	3.62	3.62	3.34

RAZON DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 81.623%

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



Anexo38: Ensayo de tracción indirecta, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 + 75% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EVALUADO CON EL TEST DE LOTTMAN MODIFICADO (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Tarrillo Montenegro Susan Mireyli

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Piedra chancada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	0.25%
Ceniza de mazorca de maíz	0.75%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	5.30

MUESTRA PATRON 75% Pesado

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS				Prom.	MUESTRAS SECAS				Prom.
		1	2	3	4		5	6	7	8	
D Número de briqueita		10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
D Diámetro	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1	
A Espesor	cm	1079.3	1009.9	1021.3	1022.8	1036.8	1063.8	1116.2	911.9	941.1	1030.6
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1086.80	1016.40	1028.50	1030.60		1074.00	1123.20	920.10	947.40	
B SSD de la Muestra	gr	678.36	613.09	624.36	628.63		588.87	657.11	551.83	553.36	
C Peso de la Muestra en Agua	cc	408.4	403.3	404.1	402.0		485.1	466.1	368.3	394.0	
E Volumen (B - C)	cc	2.642	2.504	2.527	2.544	2.6	2.193	2.395	2.476	2.388	2.4
F Peso específico Bulk de la briqueita (A/E)	gr/cc	2.793	2.793	2.793	2.793	2.8	2.793	2.793	2.793	2.793	2.8
G Peso específico teórico máximo (Rice)	%	5.40	10.36	9.53	8.91	8.4	21.50	14.27	11.35	14.50	15.7
H % de vacíos ((G - F)/G)*100		22.05	41.77	38.51	35.81		104.29	66.49	41.81	57.13	
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)											

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	1097.20	1015.00	1025.60	1055.80	NO SE EJECUTA
C Peso de la Muestra en Agua	gr	625.00	572.00	575.00	612.00	
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	472.2	443.0	450.6	443.8	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	17.9	5.1	4.3	33.0	
- Saturación (100*J'/I)	%	81.2	12.2	11.2	92.2	
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	15.61	9.84	11.50	10.41	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María											
I'' Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	NO SE EJECUTA					
B'' SSD de la Muestra	gr	1097.00	1036.60	1066.40	1057.10						
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00						
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	419.0	416.6	434.4	477.1						
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	17.7	26.7	45.1	34.3						
- Saturación (100*J''/I)	%	80.3	63.9	117.1	95.8						
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	2.24	3.00	6.72	16.93						
- Carga Máxima Kg	kg	189	57	75	125	175	95.0	205	110		
- Carga Máxima N	N	1854.090	559.170	735.750	1226.250	1093.815	1716.750	931.950	2011.050	1079.100	1434.7
- Fuerza Tenible KPA	kg/cm2	1.82	0.53	0.68	1.14	1.04	1.82	0.97	2.15	1.13	1.52

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 68.611%

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



[Handwritten Signature]
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica del Perú

Anexo39: Ensayo de tracción indirecta, con el contenido optimo de cemento asfalto de 5.30 + 100% de adición de ceniza de mazorca de maíz (filler)



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



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

TESES : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Tamiño Montenegro Susan Mireyli

PORCENTAJES DE DISEÑO	
Piedra chuscada 1/2"	40%
Arena zarandeada 5mm	59%
Cemento asfáltico (Filler)	0%
Ceniza de mazorca de maíz	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	5.30

MUESTRA PATRON 100% Pesado

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS						
		1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.		
- Numero de briqueta													
D Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16			
I Espesor	cm	6.08	6.29	6.07	6.21		6.04	6.13	5.97	6.1			
A Peso de la muestra Secca al Aire	gr	1106.4	1111.6	1140.9	1178.6	1119.6	1110.2	1200.0	1156.5	1162.4			1155.6
B SSD de la Muestra	gr	1114.40	1120.30	1147.20	1187.71		1243.10	1209.19	1161.13	1167.28			
C Peso de la Muestra en Agua	gr	678.36	693.09	654.36	698.63		588.87	677.11	621.83	593.36			
E Volumen (B - C)	cc	436.0	427.2	492.8	489.1		654.2	532.1	539.3	573.9			
F Peso especifico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.537	2.602	2.315	2.410	2.5	1.697	2.255	2.144	2.025			2.0
G Peso especifico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.857	2.857	2.857	2.857	2.9	2.857	2.857	2.857	2.857			2.9
H % de vacios ((G - F)/G)*100	%	11.19	8.93	18.98	15.66	13.0	40.61	21.06	24.94	29.11			28.9
I Volumen de vacios ((H*E)/100)	cc	48.80	38.15	93.53	76.57		265.66	112.08	134.53	167.08			

Muestra Saturada en Vacios con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25°C					
B' SSD de la Muestra	gr	1116.20	1126.50	1185.40	1198.10
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	625.00	662.00	585.00	582.00
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	491.2	464.5	600.4	616.1
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	9.8	14.9	44.5	19.5
- Saturación (100*J'/I)	%	20.1	39.1	47.6	25.5
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	12.65	8.73	21.82	25.97

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60°C - Baño de Maria					
I' Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9
B'' SSD de la Muestra	gr	1143.90	1160.70	1178.80	1216.10
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	678.00	620.00	632.00	580.00
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	465.9	540.7	546.8	636.1
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	37.5	49.1	37.9	37.5
- Saturación (100*J''/I)	%	76.8	128.7	40.5	49.0
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	6.08	24.43	8.99	23.86
- Carga Máxima Kg	kg	212	192	193	214
- Carga Máxima N	N	2079.720	1883.520	1893.330	2099.340
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.04	1.77	1.75	1.94

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 57.437%

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

USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo40: Ensayo mecánico: Cántabro tanto para las dos muestras optimas del 5.30 de cemento asfáltico y 50% de ceniza de mazorca de maíz



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



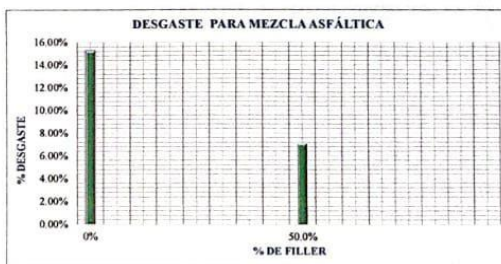
ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS MTC E 515

TESIS : "Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionando ceniza de mazorca de maíz como sustituto parcial del filler".
CANTERA : Tres Torres - Ferrolife
TESISTA : Tarrilo Montenegro Susan Mireyll

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL	
Arena zarandeada	59%
Piedra chascada 1/2"	40%
Cemento (filler)	1%
Ceniza de mazorca de maíz	0%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70 5.30	

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO	
Arena zarandeada	59%
Piedra chascada 1/2"	40%
Cemento (filler)	0.50%
Ceniza de mazorca de maíz	0.50%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70 5.30	

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	Nº DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1101.80	979.9	11.06%	15.14%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1128.00	941.4	16.54%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1006.80	747.4	25.76%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1035.80	860.7	16.90%	
5	CONVENCIONAL		300	24°C	1120.20	942.7	15.85%	
6	CONVENCIONAL		300	24°C	1113.20	992.6	10.83%	
7	CONVENCIONAL		300	24°C	1146.10	1002.3	12.55%	
8	CONVENCIONAL		300	24°C	1152.60	1019.0	11.59%	
1	CON ADICION AL 50%	50.0%	300	24°C	1200.96	1172.41	2.38%	7.01%
2	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1164.24	1097.57	5.73%	
3	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1078.86	1028.87	4.63%	
4	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1125.30	1058.23	5.96%	
5	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1083.13	957.15	11.63%	
6	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1165.61	1026.02	11.98%	
7	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1173.73	1105.26	5.83%	
8	CON ADICION AL 50%		300	24°C	1134.66	1044.33	7.96%	



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%

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

Henry Rivedeneyra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT

Anexo 41: Panel fotográfico

Imagen 01: Piedra chancada, Cantera Tres Tomas-Ferreñafe



Imagen 02: Arena zarandeada, Cantera Tres Tomas-Ferreñafe



Imagen 03: Preparación de la muestra (Cuarteo)

3.1. Arena zarandeada



3.1. Piedra chancada

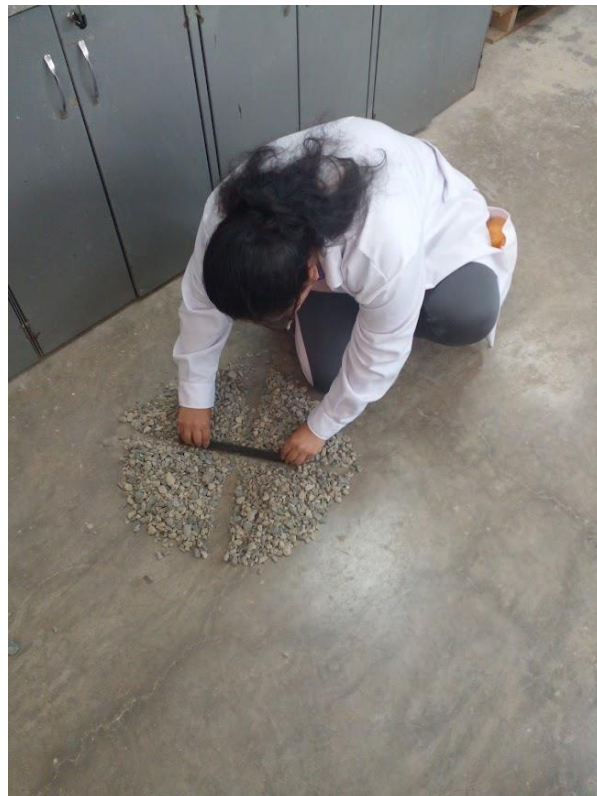
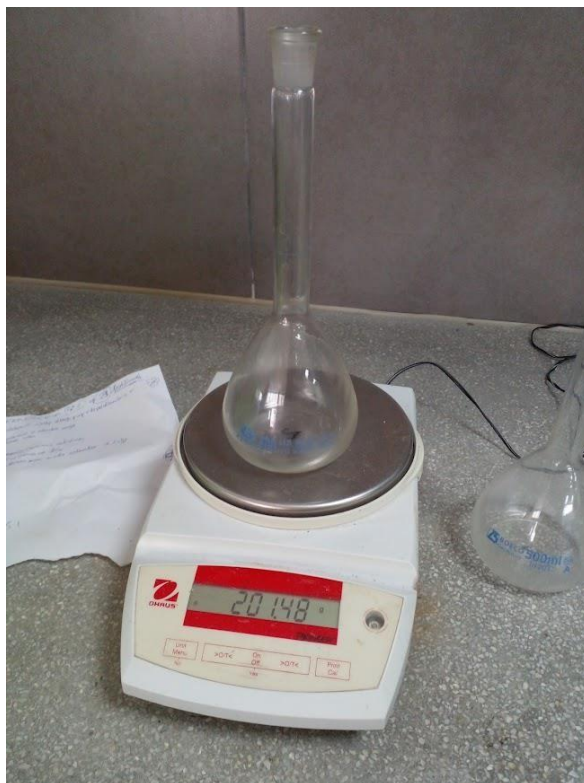
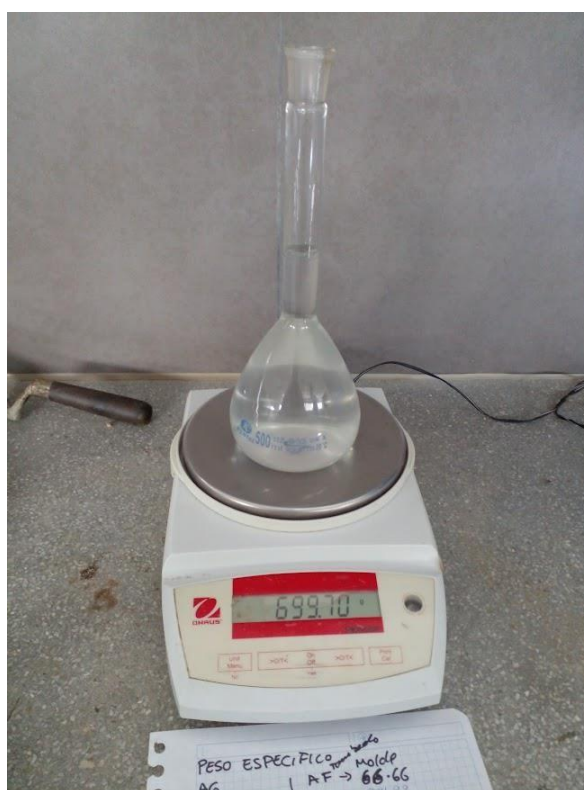


Imagen 04: Peso específico y absorción

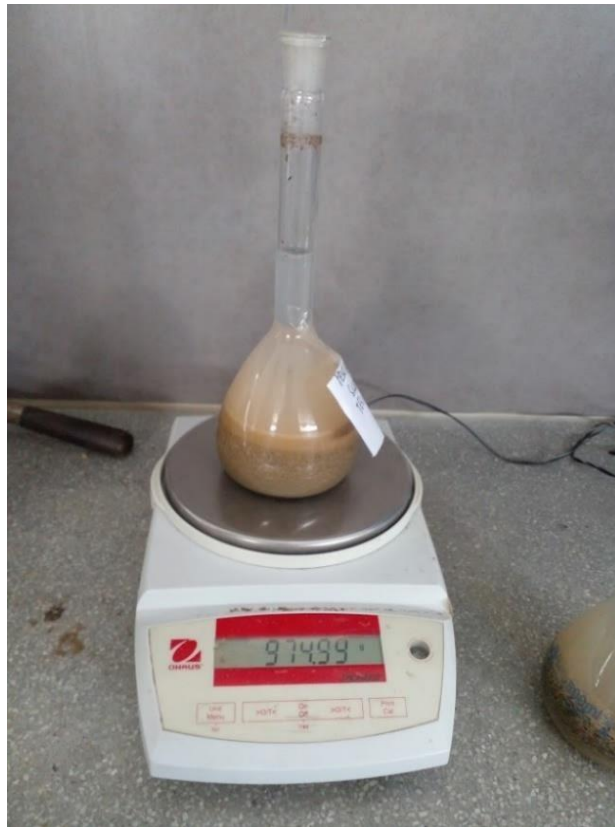
4.1. Peso de frasco



4.2. Peso del frasco + agua



4.3. Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca + Peso frasco + Peso del agua.



4.4. Peso de la Muestra seca en el horno



Imagen 05: Durabilidad a los sulfatos de magnesio

5.1. Lavado de la muestra



5.2. Peso muestras



5.3. Se introducirán las muestras en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

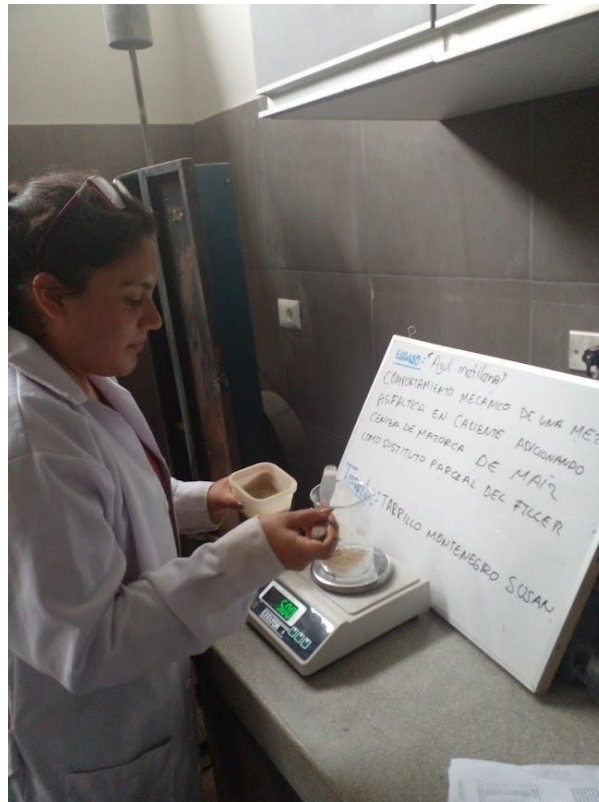


5.4. Después de 16 Horas puesto la solución de sulfato de magnesio

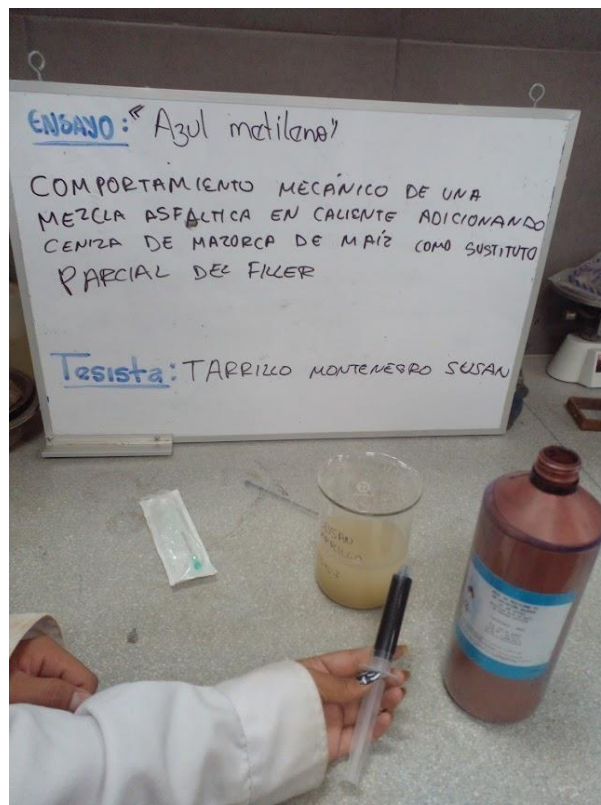


Imagen 06: Azul de metileno

6.1. Peso de muestra que pasa por la malla N°200



6.2. Azul de Metileno



6.3. Reacción de muestra + azul de Metileno



Imagen 07: Abrasión de los ángeles

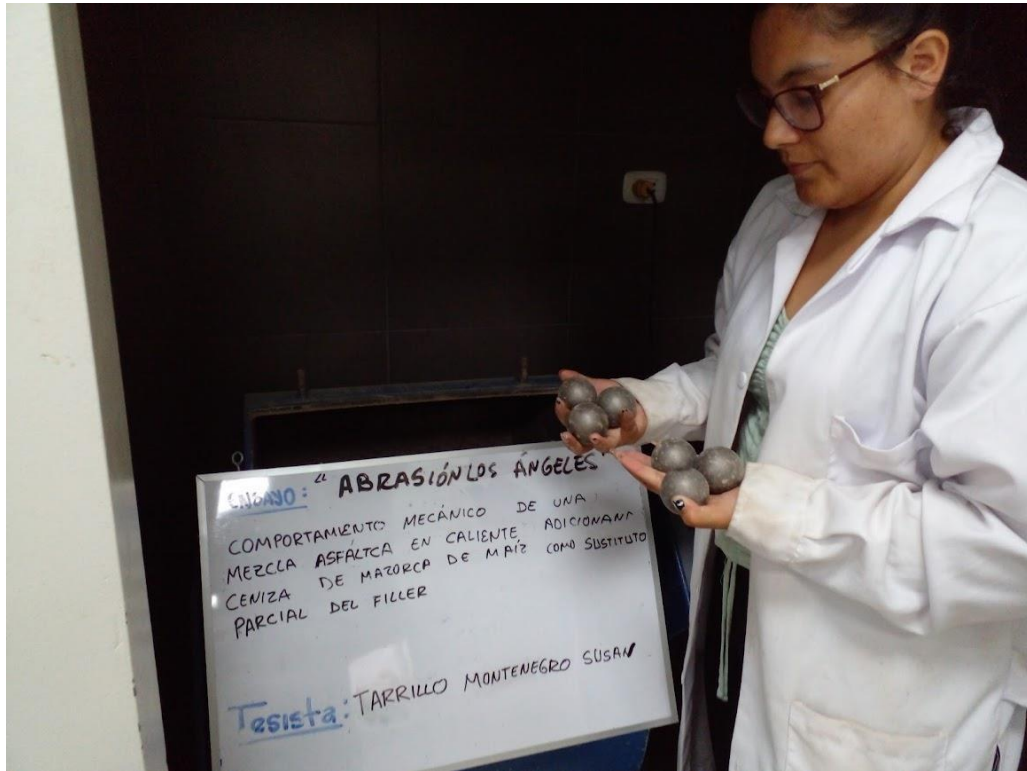
7.1. Peso de la muestra



7.2. Colocando material la máquina de abrasión de los ángeles



7.3. Agregando las esferas para espesar las revoluciones



7.4. Extracción del material después de las revoluciones



7.5. Tamizado para ver cuánto de material se desgasto



7.6. Tamizado para ver cuánto de material se desgasto



Imagen 07: Equivalente de arena

7.1. Cilindro graduado para muestra



7.2. 4 pulgadas de solución patrón



7.3. Muestra + Stock de Solución, se llena hasta 15 pulgadas haciendo la limpieza después del agitado



Imagen 08: Límite líquido y límite plástico

8.1. Límite líquido

8.1.1. Preparación de la muestra, ya tamizada



8.1.2. Muestra para límite líquido en la copa de casa grande



8.1.3. Peso de la muestra de límite líquido



8.1.4. Muestra después del horno para ver cuánto su contenido de humedad



8.2. Límite plástico

8.2.1. Con la misma muestra de límite líquido realizamos el límite plástico haciendo rollitos



8.2.1. Con la misma muestra de limite liquido realizamos el límite plástico haciendo rollitos



Imagen 09: Sales solubles totales

9.1. Peso de beaker N° 1 (grava)



9.2. Peso de beaker N° 2(arena)



9.3. Peso de beaker + residuo de sales (grava)



9.4. Peso de beaker + residuo de sales (Arena)



Imagen 10: Caras Fracturadas

10.1. Peso de muestra que pasa por el tamiz N° 1/2



10.2. Peso de muestra que pasa por el tamiz N° 3/8



10.2. Muestra con una y dos caras



Imagen 10: Partículas chatas y alargadas



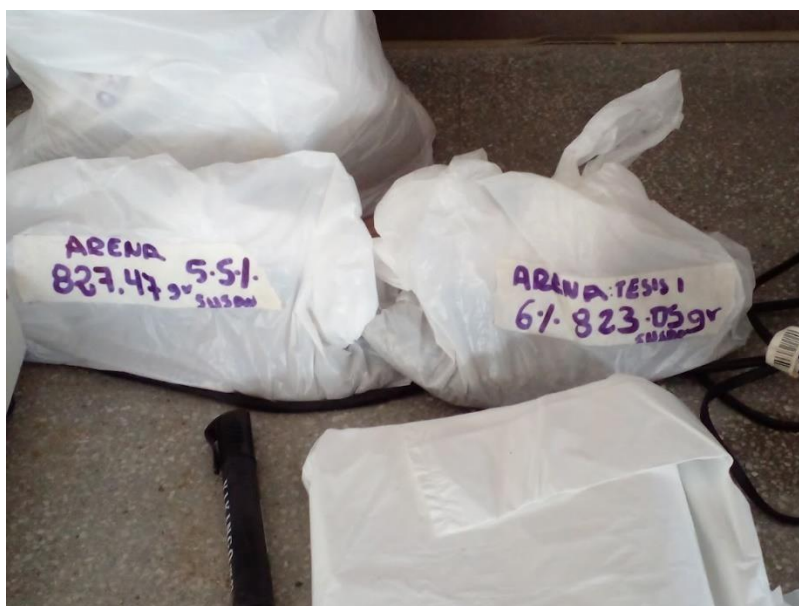
Imagen 11: Preparación para diseño Marshall

11.1. Peso de agregados

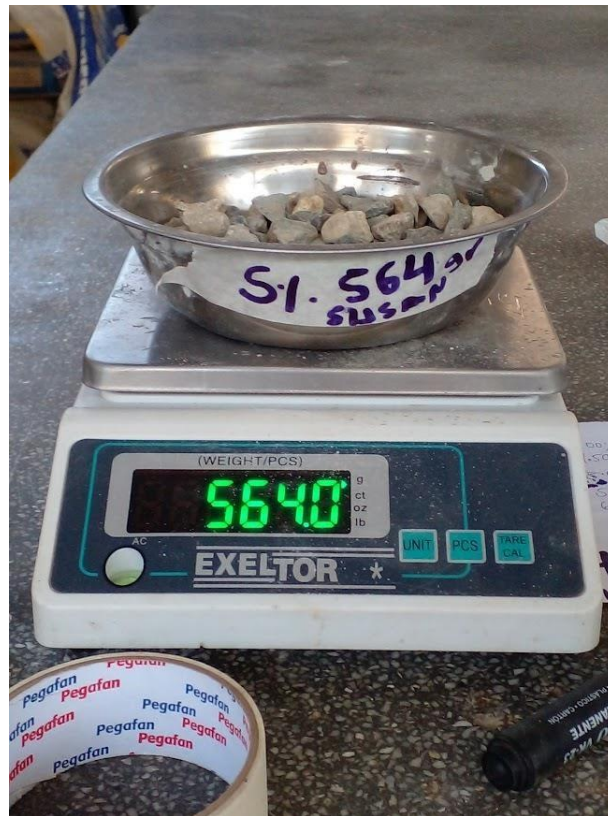
11.1.1. Peso arena



11.1.2. Embolsado de agregados para la combinación



11.1.3 Peso Piedra



11.1.4. Embolsado de agregados para la combinación



11.1.5 Peso cemento (filler)



11.1.6 Combinación de agregados



11.1.6 Combinación de agregados + Cemento asfáltico



11.1.6 Calentado de la muestra



11.1.7. Llenando molde con mezcla ya caliente



11.1.8. Compactado de mezcla



11.1.9. Desmoldado de briquetas



11.1.10. Briquetas de diseño Marshall – mezcla asfáltica patrón

11.1.10.1. Briquetas con C.A al 4%



11.1.10.2. Briquetas con C.A al 4.5%



11.1.10.3. Briquetas con C.A al 5%



11.1.10.4. Briquetas con C.A al 5.5%



11.1.10.4. Briquetas con C.A al 6%



11.1.11. Medición y pesaje de briquetas





11.1.12 Peso de briqueta sumergida en agua





11.1.13 Rotura de Máquina Marshall



11.1.14. Peso específico (rice)

11.1.14.1. Calentado de briquetas



11.1.14.2. Rotura de Briqueta después del calentado



11.1.14.3. Peso de briqueta después de la rotura



11.1.14.3. Peso de Recipiente



11.1.14.3. Peso de Recipiente + Agua



11.1.14.3. Peso del frasco + muestra + agua





11.1.14.3. Bomba de vacíos



Imagen 12: Ceniza de Mazorca de maíz

12.1. Recolección de mazorcas de maíz



12.2. Secado al sol



12.3. Peso de la mazorca a quemar



12.4. Preparación para la quema de la mazorca de maíz



12.5. Quemado de mazorca de maíz





12.6. Temperatura del quemado de mazorca de maíz



12.7. Pesado de ceniza de mazorca de maíz obtenido



Imagen 13: Ensayo de tracción indirecta

13.1. Briquetas a temperatura de 25° C



13.2. Briquetas a temperatura -18°C durante 16 horas



13.3. Briquetas a temperatura 60°C





13.4. Rotura TSR



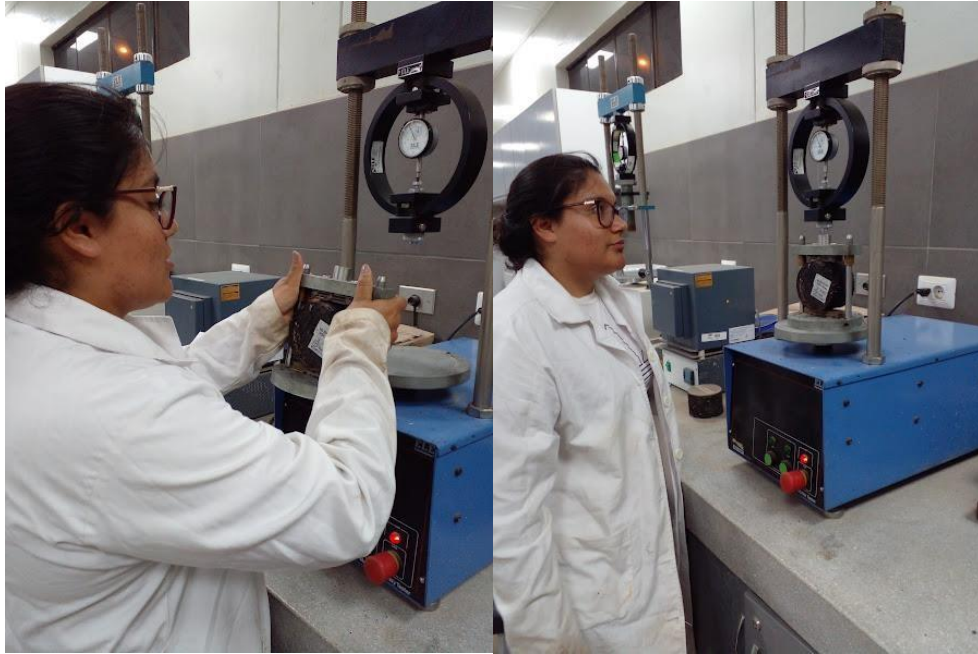


Imagen 14: Ensayo de cántabro

14.1. Se pone la muestra a la maquina los ángeles con 300 revoluciones



14.2. Luego se pesa para ver su desgaste

