



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCAILLA DE ARROZ
COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN
LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS
DE ORIGEN ÍGNEO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

AUTOR: MARÍA EMILIA ORTIZ ABRIL

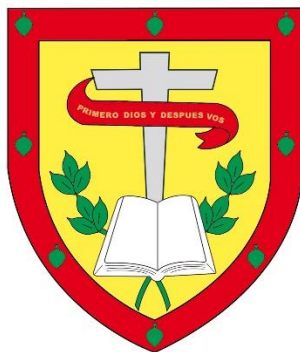
JENNIFER SAMANTHA QUITO PERALTA

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO
SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

AUTOR: MARÍA EMILIA ORTIZ ABRIL

JENNIFER SAMANTHA QUITO PERALTA

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

María Emilia Ortiz Abril portadora de la cédula de ciudadanía N° 0105768972 y Jennifer Samantha Quito Peralta portadora de la cédula de ciudadanía N° 0106328255. Declaramos ser las autoras de la obra: “APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCION PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO”, sobre la cual nos hacemos responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 21 de septiembre de 2023

F: 

María Emilia Ortiz Abril

0105768972

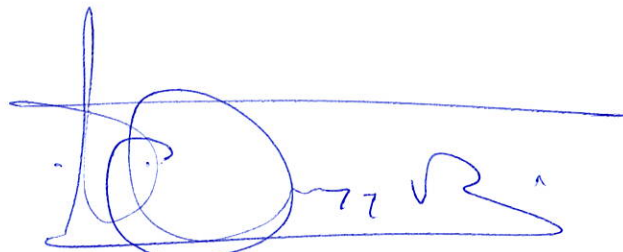
F: 

Jennifer Samantha Quito Peralta

0106328255

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Francisco José Darquea Córdova, certificó que el presente trabajo de titulación, fue ejecutado por los estudiantes Ortiz Abril María Emilia y Quito Peralta Jennifer Samantha bajo mi dirección.



F:.....

Francisco José Darquea Córdova

0103784179

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios, quien me ha dado la fuerza y me ha permitido cumplir uno de mis sueños; a mis padres Rubén y María del Carmen, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio a lo largo de todos estos años; a mis hermanas Claudia y Daniela, por ser una parte esencial de mi vida, por su paciencia y por estar siempre a mi lado; a mi abuelita Elena por su presencia constante en los momentos mas importantes de mi vida, por su sabiduría y por su amor incondicional. Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible cumplir este sueño, mediante su motivación, inspiración y ayuda en cada momento.

María Emilia Ortiz Abril

El presente trabajo es el reflejo de mi esfuerzo a lo largo de estos cinco años de carrera universitaria. Por ello, deseo dedicarlo en primer lugar a Dios, quien ha sido mi guía y mi principal maestro. También, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres; quienes son todo para mí, Jenny Peralta y Marco Quito, quienes me han brindado su amor y dedicación inquebrantable para que pudiera avanzar en esta travesía. A mis hermanos, Juan Andrés y Camila, les agradezco por nunca dejarme sola y levantarme de mis caídas con su amor constante. Mónica y Paul, los frutos de mi esfuerzo también están dedicados a ustedes por su sostenimiento y amor perseverante, Por último, a mis amigos, quienes han caminado a mi lado en este desafiante trayecto, les agradezco por su apoyo incondicional y por ser mi fuente de motivación constante para alcanzar este importante logro.

Jennifer Samantha Quito Peralta

AGRADECIMIENTO

Al concluir el arduo proceso de titulación, deseamos expresar nuestro agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por las innumerables bendiciones que nos han sido conferidas y por brindarnos la invaluable oportunidad de alcanzar este logro. De igual manera agradecemos a nuestras familias, quienes han sido el fundamento esencial que ha permitido concretar los nobles propósitos que nos hemos trazado a lo largo de nuestra trayectoria universitaria. Agradecemos su apoyo inquebrantable, afecto constante y ejemplar guía.

A la Universidad Católica de Cuenca, con un énfasis especial en la Unidad Académica de Ingeniería Industrial y Construcción, específicamente en la carrera de Ingeniería Civil, dirigida por el Ingeniero MSc. César Maldonado, y a todos sus distinguidos profesores, queremos expresar nuestro sincero reconocimiento por compartir su vasto conocimiento en las aulas. Han desempeñado un papel fundamental en la formación de profesionales que poseen tanto conocimientos técnicos como valores inestimables.

A nuestro estimado director, el ingeniero Francisco Darquea, y a nuestro valioso Asesor Metodológico, el ingeniero Marcos González, en conjunto con el ingeniero Juan Monge; les expresamos nuestro más sincero agradecimiento. Han desempeñado un papel fundamental como guías esenciales en el camino hacia el cumplimiento de los objetivos de este proyecto de titulación. Su orientación y liderazgo han sido elementos clave en nuestro éxito.

Para concluir, queremos manifestar nuestro agradecimiento a la Ingeniera MGs Paola Delgado, cuya guía ha resultado esencial a lo largo de todo el proceso de titulación. Su apoyo y dirección han contribuido significativamente a este logro.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es analizar el comportamiento de la ceniza de cascarilla de arroz como un reemplazo parcial del llenante mineral "Filler" y su interacción directa con materiales ígneos. Para alcanzar este objetivo, se han seguido directrices específicas que conducen a los resultados finales.

En primer lugar, se identificó y adquirió el material necesario de la Planta de Agregados para Asfaltos "Asfaltar" en el cantón Paute, Provincia del Azuay, además se ha utilizado material de reposición de la orilla del río Paute. Luego, se desarrolló una mezcla patrón o base, a la cual se le aplicaron variaciones en el contenido óptimo de asfalto en diferentes porcentajes (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%). Se elaboraron tres briquetas para cada porcentaje con el fin de obtener datos representativos.

Posteriormente, se seleccionó la mezcla base y se procedió a crear mezclas asfálticas con diferentes proporciones de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), incluyendo 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del llenante mineral "Filler". Nuevamente, se elaboraron tres briquetas para cada proporción.

Para la selección de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica modificada con CCA, se siguieron los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB). Estos parámetros abarcan aspectos como la estabilidad, el flujo, el porcentaje de vacíos con aire, el porcentaje de vacíos con agregado mineral y los vacíos llenos de asfalto. La evaluación de estos parámetros se realizó mediante ensayos de laboratorio que están en conformidad con las normativas establecidas.

Palabras clave: mezclas asfálticas, agregados minerales, CCA, mezclas asfálticas modificadas.

ABSTRACT

This thesis analyzes rice husk ash behavior as a partial replacement of the "Filler" mineral and its direct interaction with igneous materials. Specific guidelines have been followed to achieve this objective, leading to the final results.

First, the necessary material was identified and obtained from the Asphalt Aggregates Plant "Asfaltar" in the Paute canton, Azuay Province, and replacement material from the banks of the Paute River was also used. Afterward, a standard or base mix was developed, and variations in the optimum asphalt content were applied in different percentages (5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7%). Three briquettes were made for each percentage to obtain representative data.

Subsequently, the base mix was selected, and asphalt mixes were produced with different proportions of rice husk ash (RHA), including 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% of the "Filler" mineral. Three briquettes were produced for each proportion.

The parameters the Ministry of Public Works Transport (MPWT) established were followed to select the standard asphalt mix and the asphalt mix modified with RHA. These parameters cover stability, flow, asphalt-filled voids, and percentage with air and mineral aggregate. These parameters were assessed through laboratory tests by the set standards.

Keywords: asphalt mixtures, mineral aggregates, RHA, modified asphalt mixtures.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD	2
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
CAPITULO I	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1 Formulación del Problema	14
1.2 Delimitación del Problema.....	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 General.....	15
1.3.2 Específicos	15
1.4 Justificación.....	15
CAPITULO II.....	17
ESTADO DEL ARTE.....	17
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Mezclas Asfálticas.....	22
2.2 Clasificación de las Mezclas Asfálticas	22
2.3 Materiales de las Mezclas Asfálticas	23
2.3.1 Asfalto AC-20.....	23
2.3.1.1 Especificación Técnica.....	24
2.3.2 Agregados Pétreos	24
2.3.2.1 Naturaleza.....	25
2.3.2.2 Procedencia	27
2.3.2.3 Análisis de la procedencia de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica	28
2.3.2.3.1 Planta de agregados y asfalto del Azuay y la “Virginia”	29
2.3.2.3.2 Material de reposición de la orilla del río Paute.....	30
2.3.2.4 Propiedades principales de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica	30
2.3.2.4.1 Granulometría de los áridos.....	31
2.3.2.4.2 Gravedad Específica o Peso Específico.....	31

2.3.2.4.3	Propiedades específicas del árido grueso	33
2.3.2.4.4	Propiedades específicas del árido fino.....	35
2.3.2.4.5	Material de trituración de 3/16”	35
2.4	Ceniza de Cascarilla de arroz (CCA)	35
2.4.1	Cascarilla de arroz.....	35
2.4.2	Obtención de la CCA	35
2.4.3	Propiedades de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)	36
2.5	Comportamiento de las mezclas asfálticas.....	37
2.6	Métodos de diseño de las mezclas asfálticas.....	38
2.6.1	Método Superpave	38
2.6.2	Método Ramcodes	39
2.6.3	Método Marshall.....	39
CAPITULO III.....		44
METODOLOGÍA.....		44
3.1	Caracterización de los agregados	44
3.1.1	Granulometrías independientes.....	44
3.1.2	Peso Específico de cada agregado	50
3.2	Diseño de la mezcla de agregados para la muestra patrón	52
3.2.1	Curva granulométrica ajustada a los límites indicados.....	57
3.3	Elaboración de probetas para la muestra patrón.....	58
3.4	Ensayos a las probetas para la muestra patrón	58
3.4.1	Ensayo Bulk.....	58
3.4.2	Peso específico máximo medido - Método Rice.....	59
3.4.3	Ensayo Marshall para Estabilidad y Flujo	60
3.5	Diseño de la mezcla de agregados con la adición de CCA	61
3.6	Elaboración de probetas para la muestra con CCA.....	66
3.7	Ensayos realizados a las briquetas con CCA	66
3.7.1	Ensayo Bulk.....	66
3.7.2	Peso específico máximo medido – Método Rice.....	67
3.7.3	Ensayo Marshall para Estabilidad y Flujo	68
CAPITULO IV.....		70
RESULTADOS.....		70
4.1	Análisis de la mezcla asfáltica patrón	70

4.2	Análisis de las mezclas asfálticas con CCA.....	74
4.3	Análisis de un asfalto tradicional con un 20% y 40% de CCA.....	78
4.3.1	Estabilidad.....	79
4.3.2	Flujo.....	80
4.3.3	Porcentaje de vacíos con aire.....	81
4.3.4	Porcentaje de vacíos con agregado mineral.....	82
4.3.5	Porcentaje de vacíos llenos de asfalto.....	83
	CONCLUSIONES.....	84
	RECOMENDACIONES.....	86
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	ANEXOS.....	93
	Recolección del Material.....	93
	Caracterización del Material.....	94
	Elaboración de Probetas.....	95
	Ensayo de las probetas.....	96
	Granulometría del material de 3/4.....	99
	Granulometría del material de 3/8.....	100
	Granulometría del polvo de piedra.....	101
	Granulometría de la arena.....	102
	Granulometría del llenante mineral filler.....	103
	Granulometría de la ceniza de cascarilla de arroz.....	104
	Granulometría de la mezcla del material 38,27% ag. grueso y 61,73% ag. fino.....	105
	Gravedad específica del material de 3/4: método gravimétrico.....	106
	Gravedad específica del material de 3/8: método gravimétrico.....	107
	Gravedad específica del material de polvo de piedra: método gravimétrico.....	108
	Gravedad específica del material de arena: método gravimétrico.....	109
	AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL RESPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Síntesis de la revisión literaria.....	18
Tabla 2.	Parámetros de clasificación de las mezclas asfálticas	22
Tabla 3.	Especificación Técnica del Asfalto AC-20	24
Tabla 4.	Rangos Granulométricos	31
Tabla 5.	Propiedades de la CCA.....	37
Tabla 6.	Criterios según la MTOP.....	42
Tabla 7.	Criterios según la MTOP.....	43
Tabla 8.	Granulometría de 3/4.....	45
Tabla 9.	Granulometría de 3/8.....	46
Tabla 10.	Granulometría de la arena.....	47
Tabla 11.	Granulometría del material de trituración de 3/16”	48
Tabla 12.	Granulometría del llenante mineral “filler”	49
Tabla 13.	Granulometría del CCA	49
Tabla 14.	Rangos Granulométricos.....	52
Tabla 15.	Mezcla con el 5% de asfalto	55
Tabla 16.	Mezcla con el 5,5% de asfalto	55
Tabla 17.	Mezcla con el 6% de asfalto	56
Tabla 18.	Mezcla con el 6,5% de asfalto	56
Tabla 19.	Mezcla con el 7% de asfalto	56
Tabla 20.	Granulometría del material	57
Tabla 21.	Mezcla con el 20% de CCA.....	64
Tabla 22.	Mezcla con el 40% de CCA.....	64
Tabla 23.	Mezcla con el 60% de CCA.....	65
Tabla 24.	Mezcla con el 80% de CCA.....	65
Tabla 25.	Mezcla con el 100% de CCA.....	65
Tabla 26.	Resultados obtenidos en el laboratorio para la muestra patrón.....	71
Tabla 27.	Comparación de resultados de 5% con lo especificado en la MTOP.	72
Tabla 28.	Comparación de resultados de 5,5% con lo especificado en la MTOP.	72
Tabla 29.	Comparación de resultados de 6% con lo especificado en la MTOP.	73
Tabla 30.	Comparación de resultados de 6,5% con lo especificado en la MTOP.	73
Tabla 31.	Comparación de resultados de 7% con lo especificado en la MTOP.	74
Tabla 32.	Resultados obtenidos en el laboratorio con CCA	75

Tabla 33.	Comparación de resultados de 20% con lo especificado en la MTOP.	76
Tabla 34.	Comparación de resultados de 40% con lo especificado en la MTOP.	76
Tabla 35.	Comparación de resultados de 60% con lo especificado en la MTOP.	77
Tabla 36.	Comparación de resultados de 80% con lo especificado en la MTOP.	77
Tabla 37.	Comparación de resultados de 100% con lo especificado en la MTOP.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Equipo para la elaboración de briquetas	40
Figura 2.	Prensa para ensayo Marshall.....	41
Figura 3.	Mordazas.....	41
Figura 4.	Curva Granulométrica de 3/4.....	45
Figura 5.	Curva Granulométrica de 3/8.....	46
Figura 6.	Curva Granulométrica de la arena	47
Figura 7.	Curva Granulométrica del material de trituración de 3/16”.....	48
Figura 8.	Material Saturado.....	50
Figura 9.	Proceso del ensayo.....	51
Figura 10.	Curva Granulométrica ajustada a los limites	57
Figura 11.	Procedimiento para la elaboración de las probetas	58
Figura 12.	Proceso del ensayo.....	58
Figura 13.	Proceso del ensayo.....	59
Figura 14.	Proceso de ensayo	60
Figura 15.	Procedimiento para la elaboración de las probetas	66
Figura 16.	Proceso del ensayo.....	67
Figura 17.	Proceso del ensayo.....	68
Figura 18.	Proceso de ensayo	69
Figura 19.	Análisis de Estabilidad.....	79
Figura 20.	Análisis de Flujo	80
Figura 21.	Análisis de porcentaje de vacíos con aire	81
Figura 22.	Análisis de porcentaje de vacíos con agregado mineral	82
Figura 23.	Análisis de porcentaje de vacíos llenos de asfalto	83

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Formulación del Problema

En 2021 el Ecuador se convirtió en el exportador número 40 de asfalto en el mundo, sumando a esto el desarrollo vial interno de nuestro país, es notable la demanda de los elementos que conforman la capa asfáltica de un pavimento como sus agregados pétreos y el betún procedente de la destilación del petróleo. (*Asfalto en Ecuador / OEC, 2021*)

Los elementos que conforman las mezclas asfálticas son un delimitante a la producción de asfalto, debido al claro agotamiento de los recursos naturales. Por ejemplo, los agregados como la grava y arena que son parte fundamental dentro de la construcción y el desarrollo de las ciudades; representando el mayor volumen de material sólido que se extrae a nivel mundial. Creando contaminación, inundaciones, extinción de acuíferos entre otros. (*Asfalto en Ecuador / OEC, 2021*)

En la misma línea del cuidado del medio ambiente en cuanto a la conservación de sus recursos se tiene una gran preocupación acerca de la cascarilla de arroz, el cual es un subproducto de la producción de arroz, mismo que al ser arrojado sin darle un nuevo uso, se identifica como un agente altamente contaminante.

1.2 Delimitación del Problema

Al identificar el problema que se presenta en nuestro territorio, con la alta demanda de asfalto para el desarrollo vial de las ciudades y al identificar la ausencia de investigación dentro de nuestro país considerando la alternativas para sustituir los agregados finos en las mezclas asfálticas con ciertos porcentajes de CCA; se busca generar datos a partir de la evaluación de los agregados de origen Ígneo, con los cuales se trabajaran, realizando los ensayos correspondientes; de la misma manera con la cascarilla de arroz, se seguirá el

proceso que recomiende la bibliografía evaluada para su transformación a ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

Siendo relevante mencionar que los agregados de origen ígneo con los que se trabajara serán extraídos de la mina situada en la comunidad “La Virginia, parroquia Dug Dug del cantón Paute correspondientes a la Empresa Publica ASFALTAR, la cual es la principal fuente de abastecimiento de áridos para obras viales de asfalto para el Azuay y el agregado fino (arena) será material de reposición de la orilla del río Paute.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Determinar la factibilidad de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz en mezclas asfálticas, mediante la sustitución del agregado fino.

1.3.2 Específicos

Establecer una muestra patrón, realizando la respectiva variación de porcentajes del betún y estudiando el mejor comportamiento frente al flujo y estabilidad de las muestras.

Determinar el porcentaje óptimo de sustitución del agregado fino por ceniza de cascarilla de arroz, analizando cada una de las mezclas realizadas con porcentajes variables.

Evaluar los resultados para entender el funcionamiento de cada una de las mezclas realizadas como los distintos componentes con los cuales se están trabajando.

1.4 Justificación

Uno de los principales desafíos urbanos es la polución del aire que, con la transformación y crecimiento de pueblos y ciudades, el fenómeno de la contaminación atmosférica es irrefrenable.

La extracción de materiales pétreos se ha convertido en una actividad cada vez más demandada en la actualidad. Si bien esta actividad puede generar importantes beneficios económicos y productivos para el sector de la construcción y el desarrollo de las ciudades, a menudo se lleva a cabo de manera arbitraria, lo que resulta en efectos negativos en los factores biológicos y ambientales. Los impactos de esta actividad incluyen la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad, la alteración del ciclo hidrológico y la contaminación del aire y el agua. Además, una vez que se extraen los recursos pétreos, los efectos son a menudo irreversibles, lo que puede tener un impacto a largo plazo en el medio ambiente. (Instituto Mexicano del Transporte, 2000)

De igual manera que la minería genera desarrollo, las actividades agrícolas pueden presentarse como un agente de progreso, pero al mismo tiempo dejar una huella que afecte la calidad del aire. Según el INEN en 2018, la superficie de labor agropecuaria alcanzó 5,3 millones de Hectáreas, estando entre los principales productos el arroz; que en los años posteriores ha llegado a alcanzar aproximadamente 873.000 toneladas métricas. En el proceso productivo del arroz se genera paralelamente un subproducto llamado cascarilla de arroz, el cual al ser quemado la cascarilla de arroz puede liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, a la atmósfera, lo que contribuye al cambio climático. (*Producción de Arroz por País | Producción Agrícola Mundial 2022/2023*, 2022)

Al haber estudiado estos problemas que alteran de manera directa al medio ambiente, es necesario buscar alternativas que ayuden preservar los recursos naturales y considerar el uso de recursos generalmente desechados en prácticas sostenibles de gestión de residuos. Mirando hacia un lado se pueden observar investigaciones del uso de la ceniza de la cascarilla de arroz en el sector de la construcción, debido a propiedades químicas que la CCA presenta.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

La revisión literaria desempeña un papel de suma importancia en este proyecto de investigación sobre mezclas asfálticas, ya que proporciona conocimientos previos que amplían nuestra comprensión y nos permiten abordar de manera más sólida el método a utilizar en el proceso. A través de la revisión literaria, exploramos investigaciones anteriores, estudios científicos y normativas relevantes, lo cual nos brinda una visión más profunda sobre la selección adecuada de materiales y los factores clave que pueden influir en el éxito de nuestra investigación.

Además de ser un punto de partida claro y probado, la revisión literaria también nos ayuda a contextualizar nuestro proyecto dentro del ámbito de las mezclas asfálticas a lo largo del tiempo. Nos permite identificar tendencias, avances y lagunas en el conocimiento existente, lo cual nos guía hacia áreas específicas que pueden requerir mayor investigación y aporta un marco de referencia para nuestras propias contribuciones.

Tabla 1.*Síntesis de la revisión literaria*

Autor/Año	Tema	Método Utilizado	Resultados Obtenidos
(Lizcano Garzón & Ramos Félix, 2020)	“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON LLENANTE MINERAL DE CENIZA DE LA CASCARILLA RESULTANTE DE LA MOLIENDA DEL ARROZ”	Método Marshall	La presencia de ceniza en las mezclas asfálticas modificadas mejora la estabilidad, flujo y rigidez debido a mayores esfuerzos de cohesión. La reducción del volumen de vacíos en estas mezclas las hace más rígidas y resistentes a las cargas de tránsito. Además, la inclusión de sílice en la ceniza aumenta la resistencia al calor.
(Parra Bechara & Gallo Ortiz, 2018)	“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ”	Método Marshall	La evaluación del asfalto modificado con cenizas de cascarilla de arroz demostró mejoras en las propiedades físicas y reológicas del ligante asfáltico. Se encontró que la modificación con un porcentaje de 6% de ceniza brindó el mejor resultado. La ceniza de cascarilla de arroz, rica en sílice, aporta al asfalto una mayor resistencia al calor y aumenta su durabilidad.
(Bastidas Gutiérrez & Ortiz Vizuite, 2016)	“COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN	Diseño de Hormigón ACI	El hormigón con CCA a los 14 días presenta un incremento en su resistencia con relación al hormigón estándar. Obteniendo un incremento el 7% de la

	LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN MEZCLAS DE HORMIGÓN ESTÁNDAR”		resistencia con el 5 % de CCA y un 17.35% con el 10% de CCA.
(Forero Triana & Hernández Franco, 2020)	“DISEÑO MARSHALL Y VERIFICACIÓN DE ADHERENCIA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-25 CON REEMPLAZO PARCIAL DE MATERIAL GRANULAR POR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ”	Método Marshall	Al analizar los resultados, se tiene que en la mezcla modificada con CCA no genera una mejora considerable; sin embargo, se tiene que al reemplazar la CCA en un 25% con el contenido de Filler, cumple con los requerimientos mínimos propuestos por la normativa INVIAS en las especificaciones de diseño preliminares de la mezcla asfáltica en caliente mediante Marshall del artículo 450-10.
(Sunarjono et al., 2022)	“The Improvement of Asphalt Mixture Durability Using Portland Cement Filler and Rice Husk Ash”	Método Marshall	El uso de ceniza de cascarilla de arroz y cemento Portland aumenta la durabilidad de las mezclas asfálticas y mejora resistencia al agua. En la investigación se encontró que el porcentaje óptimo de asfalto es del 5.5% y el porcentaje óptimo de relleno es del 4%. Además, a menor tamaño del tamiz de relleno (#400) la durabilidad es mayor, mientras que para un tamaño de tamiz de relleno #200 la resistencia es mayor.

(Taku et al., 2016)	“Comparative Elemental Analysis of Rice Husk Ash Calcined at Different Temperatures Using X-ray Fluorescence (XRF) Technique”	Fluorescencia de rayos X	La ceniza de cáscara de arroz calcinada a temperaturas entre 400°C y 800°C contiene más del 70% de sílice, lo que la hace adecuada para su uso como material puzolánico en la construcción según lo estipulado en la norma ASTM C 618. Además, la gravedad específica de la ceniza disminuye al calcinarla a dichas temperaturas.
(Sethunaryanan et al., 1989)	“Natural Fiber Reinforced Concrete”		En hormigón armado la ceniza de cascarilla de arroz puede ser utilizada como un reemplazo parcial del cemento Portland convencional, lo que contribuye significativamente a mejorar la durabilidad y resistencia del concreto reforzado con fibras naturales.
(Shafabakhsh et al., 2018)	“Evaluation of Optimum Content of Rice Husk Ash to Improve the Hot Asphalt Concrete Performance”	Método Marshall	El uso excesivo de ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo de los llenantes predominantes en las mezclas asfálticas en caliente mejora significativamente su desempeño; sin embargo, debido a la rigidez excesiva creada por la ceniza de la cáscara de arroz, es mejor usarla en un porcentaje optimizado. Se sugiere un contenido del 26% de ceniza de cáscara de arroz para el grado

(Sargin et al., 2013)	“Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete”	Método Marshall	número 4 y del 48 % para el grado número 5 como reemplazo del relleno de polvo de piedra. Tras evaluar los resultados, se determinó que los porcentajes óptimos de asfalto, piedra caliza y ceniza de cascarilla de arroz son 4.73%, 5% y 50%, respectivamente. Además, resaltan la importancia del empleo de materiales de desecho en la construcción como una medida para disminuir costos y mitigar los efectos ambientales negativos.
-----------------------	---	-----------------	---

Nota: Fuente: Autores

MARCO TEÓRICO

2.1 Mezclas Asfálticas

Una mezcla asfáltica es la combinación de agregados pétreos y ligantes asfálticos distribuidos en proporciones exactas para que dicha combinación forme una película uniforme. Dicha mezcla se utiliza en la construcción de carreteras y vías aeroportuarias y su función es crear una superficie cómoda, segura y económica para el tráfico de vehículos. Además, permite la transmisión adecuada de cargas generadas por el tráfico a las capas inferiores de la carretera. (Puente Ganz, 2020)

Las propiedades que destacan en las mezclas asfálticas son las siguientes:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Resistencia al deslizamiento
- Impermeabilidad
- Resistencia a la Fatiga

2.2 Clasificación de las Mezclas Asfálticas

Existen diversos parámetros para clasificar las mezclas asfálticas.

Tabla 2.

Parámetros de clasificación de las mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones del Agregado Pétreo	Masilla: Polvo mineral + ligante
	Mortero: Agregado fino + masilla
	Concreto: Agregado grueso + mortero
	Macadam: Agregado grueso + ligante asfáltico

Temperatura de puesta en Obra	En caliente: Se coloca a temperaturas superiores a la del ambiente.
	En frío: Se coloca a temperatura ambiente.
	Cerradas o Densas: No mayor al 6%
Proporción de Vacíos	Semi-cerradas o Semi-densas: Entre 6% y el 10%
	Abiertas: Mayor de 12%
	Porosas o Drenantes: Superior al 20%
Tamaño Máximo del Agregado Pétreo	Gruesas: Tamaño máximo del árido es mayor a 10 mm.
	Finos: Tamaño máximo del árido es menor a 10 mm.
Estructura del Agregado Pétreo	Con Esqueleto Mineral: Presentan un esqueleto mineral resistente debido a que el rozamiento de los agregados es alto.
	Sin Esqueleto Mineral: Carece de un esqueleto mineral resistente y su resistencia se debe a la cohesión que presenta la mesilla.
Granulometría	Continuas: Cantidad de áridos que presenta una faja granulométrica bien graduada.
	Discontinua: Cantidad de áridos que presenta una faja granulométrica mal graduada.

Nota: Tabla tomada de (Construmatica, 2012)

2.3 Materiales de las Mezclas Asfálticas

2.3.1 Asfalto AC-20

“Es un asfalto destilado del petróleo. Las características técnicas del mismo cumplen con lo especificado en la ASTM D 3381. Es un producto recomendado para la construcción y conservación de carpetas asfálticas tanto de base como en capa de rodadura.” (Petroandes, s. f.)

2.3.1.1 Especificación Técnica

Tabla 3.

Especificación Técnica del Asfalto AC-20

ENSAYO	unidad	mín	máx
Viscosidad Absoluta (60°C)	P	1600	2400
Viscosidad Cinemática (135°C)	cSt	300	-
Penetración (25°C, 100g, 5 s)	dmm	40	-
Punto de Inflamación (cleveland vaso abierto)	°C	323	-
Solubilidad en Tricloroetileno	%	99.0	
ENSAYO SOBRE EL RESIDUO RTFOT			
Viscosidad Absoluta (60°C)	P	-	8000
Ductilidad (25°C)	cm	50	-

Nota: Tabla tomada de (American Society for Testing and Materials, 2010)

2.3.2 Agregados Pétreos

Los áridos son materiales de tipo granular sólidos que se componen de partículas discretas e inertes. Los agregados pétreos, también conocidos como agregados naturales o áridos, son materiales granulares compuestos principalmente por rocas trituradas, grava, arena o combinaciones de estos. Se utilizan comúnmente en la construcción para formar la estructura y el cuerpo de diversas obras, como carreteras, edificios, puentes y pavimentos. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

Los agregados pétreos pueden clasificarse en diferentes tamaños, como gruesos y finos, según su tamaño de partícula. Los agregados gruesos, como la grava y la piedra triturada, se utilizan para proporcionar resistencia y estabilidad estructural, mientras que los

agregados finos, como la arena, se utilizan para mejorar las características de trabajabilidad y proporcionar una superficie más suave. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

2.3.2.1 Naturaleza

En la construcción de carreteras, se necesitan ciertas propiedades físicas de los áridos, las cuales están vinculadas a la composición mineralógica de las rocas de origen. La elección de cada tipo de árido se basa en su disponibilidad en áreas cercanas al lugar de la obra. (Toro Oyarzo, 2013)

- Áridos ígneos y metamórficos

Las rocas ígneas, también llamadas magmáticas, se forman a partir de la solidificación de un material rocoso móvil y caliente conocido como magma. Estas rocas experimentan un cambio de estado de sólido a líquido debido al aumento de temperatura. (Ingeoexpert, 2020)

La textura es la característica principal de las rocas ígneas, ya que describe la forma de la roca en términos de tamaño, forma de los cristales y su disposición. Estas rocas suelen encontrarse en la parte superior de la corteza terrestre, generalmente debajo de rocas metamórficas y sedimentarias. Son de gran importancia para comprender la composición del manto terrestre y pueden proporcionar información sobre eventos tectónicos pasados. (Ingeoexpert, 2020)

La clasificación de los diferentes tipos de rocas ígneas nos permite obtener información valiosa sobre las condiciones en las que se formaron. Aunque existen diversas formas de clasificar las rocas ígneas, nos centraremos en su distribución según la textura y el origen. La temperatura de cristalización de estas rocas puede variar entre 1000°C y 1250°C, dependiendo del tipo de magma. (Ingeoexpert, 2020)

Las rocas volcánicas, también conocidas como rocas extrusivas, se forman en la superficie terrestre a través de la solidificación del magma, generalmente después de una erupción volcánica. (Ingeoexpert, 2020)

Las rocas ígneas plutónicas o intrusivas se forman cuando el magma se solidifica en el interior de la corteza terrestre. En este proceso, el magma se enfría de manera lenta, lo que permite que los minerales se cristalicen en formas de grandes cristales que pueden ser observados a simple vista. (Ingeoexpert, 2020)

- **Áridos Calizos**

La roca caliza se forma a través de la sedimentación de organismos marinos en los fondos marinos. Su componente principal es el carbonato de calcio. Para extraerla, se emplea la técnica de voladura, seguida de la trituración y clasificación de la roca en diferentes tamaños. Su uso principal se destina a la construcción y obras públicas. (AIMSA áridos silíceos, s. f.)

Es un material duradero y resistente, lo que la convierte en una opción popular para la fabricación de concreto, cemento, agregados y otros productos de construcción. Además, su tonalidad clara y textura uniforme le otorgan un atractivo estético, lo que la convierte en un material apreciado para revestimientos y acabados en edificios y estructuras. (Wikivia, 2011)

- **Áridos Silíceos**

Los áridos silíceos se originan en depósitos sedimentarios y se extraen de yacimientos con granos de tamaño variable. Estos áridos se separan según su tamaño, obteniendo fracciones más pequeñas a través del proceso de trituración. Para cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas, es necesario que estas fracciones presenten un número mínimo de caras de fractura. Sin embargo, encontrar bolos lo suficientemente

grandes para garantizar este número mínimo de caras de fractura después de la trituración puede ser un desafío. (Wikivia, 2011)

En ocasiones, los áridos silíceos pueden tener una adhesividad limitada con los ligantes hidrocarbonados utilizados en las mezclas asfálticas. No obstante, un alto número de caras de fractura, junto con un contenido elevado de sílice, resulta en un árido con propiedades mecánicas y resistencia interna que brindan un esqueleto mineral adecuado para su uso incluso en mezclas bituminosas sometidas al tráfico directo. (Wikivia, 2011)

2.3.2.2 Procedencia

- Yacimientos

Un yacimiento es una concentración natural de recursos geológicos valiosos, como minerales, petróleo, gas natural o agua, que se encuentra en la corteza terrestre. Puede formarse de diversas maneras, como resultado de procesos geológicos y puede ubicarse en diferentes entornos geológicos. La exploración y explotación de yacimientos son actividades importantes en la industria extractiva para obtener recursos esenciales utilizados en varios sectores económicos.

- Canteras

“Son explotaciones de materiales pétreos abiertas en formaciones rocosas masivas. Las rocas pueden ser de tipo ígneo, metamórfico o sedimentario” (Kraemer et al., 2004)

En las canteras, se lleva a cabo el proceso de extracción de estos materiales utilizando diferentes métodos, como perforación, voladura o excavación, dependiendo de las características del yacimiento. Una vez extraídos, los materiales pasan por procesos de trituración, clasificación y selección para obtener productos de diferentes tamaños y

calidades. Estos materiales procesados se preparan para satisfacer las demandas específicas de cada sector industrial.

Las canteras son operaciones a cielo abierto que tienen una vida útil limitada. Una vez que se agotan los recursos disponibles, es necesario cerrar la cantera. Es esencial llevar a cabo una gestión adecuada de las canteras para minimizar los impactos ambientales, como la alteración del paisaje y la generación de residuos. Además, se debe realizar la restauración del sitio después de su cierre, con el objetivo de devolver el área a un estado ambientalmente seguro y, en la medida de lo posible, restaurar su apariencia natural.

- **Otras fuentes de suministro**

Hay áridos que se obtienen de manera no convencional, principalmente a través de procesos industriales específicos. Algunos de estos áridos se originan a partir de materiales naturales con el propósito de obtener características especiales para la capa de rodadura, como una alta resistencia al deslizamiento. Entre los tipos más utilizados de áridos artificiales se encuentran las arcillas expandidas, la sílice y la bauxita calcinadas. Estos áridos presentan una notable resistencia al pulimento, y algunos de ellos son de color blanco, lo que los hace ideales para su aplicación en áreas con iluminación permanente, contribuyendo así a reducir los costos de iluminación. (Kraemer et al., 2004)

2.3.2.3 Análisis de la procedencia de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica

Los agregados pétreos de origen ígneo son de suma importancia para la presente investigación debido a que se evaluará su comportamiento con CCA.

Los agregados que se utilizarán en el presente proyecto de titulación; son los siguientes.

- Material triturado de 3/4”
- Material triturado de 3/8”
- Material triturado de 3/16”
- Arena
- Llenante mineral “filler”

A continuación, se describirá la procedencia de los materiales; de igual manera su caracterización geológica.

2.3.2.3.1 Planta de agregados y asfalto del Azuay y la “Virginia”

En el Cantón Paute, parroquia Dug Dug, sector la Virginia, se encuentra ubicada la planta de agregados y asfalto de la Empresa Pública Asfaltar; concesionada por el Gobierno Provincial del Azuay, el cual tiene el libre aprovechamiento de la mina que el Estado le otorga. Esta planta aprovecha los abundantes recursos de agregados presentes en la zona para llevar a cabo la producción de asfalto de alta calidad. Con el respectivo diseño, los agregados se procesan y combinan con los componentes necesarios para obtener el asfalto final. Este asfalto se utiliza en la construcción y mantenimiento de carreteras, calles y otras infraestructuras viales a lo largo de la provincia del Azuay, contribuyendo así al desarrollo y la mejora de las vías de transporte en la región.

Los materiales de esta mina son de origen ígneo, las cuales se han formado a partir de la solidificación de un material rocoso móvil y caliente conocido como magma.

Los materiales utilizados de la presente planta de agregados son material triturado de 3/4”, material triturado de 3/8”, material triturado 3/16” y llenante mineral “filler”.

2.3.2.3.2 Material de reposición de la orilla del río Paute

De igual manera, el cantón Paute se caracteriza por la presencia de depósitos aluviales en el río Paute. Varias concesiones mineras se encargan de extraer agregados necesarios para la construcción, como arena, grava y piedra triturada. Estos materiales son de vital importancia en la elaboración de hormigón, mortero y otros productos utilizados en proyectos de construcción.

En el área de la cuenca del río Paute, es evidente la existencia de depósitos aluviales que se originaron durante la era cuaternaria del periodo Holoceno. Estos depósitos se localizan predominantemente en los valles amplios y se caracterizan por capas de sedimentos arcillosos que se superponen a depósitos de rocas más grandes. Las corrientes que atraviesan los afloramientos volcánicos de Llacao contribuyen significativamente a la acumulación de una gran cantidad de arena en la región.

El material utilizado de esta mina es arena.

2.3.2.4 Propiedades principales de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica

“En una mezcla asfáltica en caliente, el agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento del peso total de la carpeta asfáltica densamente graduada. Esto significa que la calidad del agregado utilizado es un factor crítico en el rendimiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se tienen en cuenta otros criterios durante la selección del agregado. Además de cumplir con los requisitos de costo y disponibilidad, el agregado debe poseer ciertas propiedades para ser considerado adecuado para la construcción de un pavimento asfáltico de alta calidad.” (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

2.3.2.4.1 Granulometría de los áridos

La compactación es una característica esencial en cualquier capa de pavimento, ya que tiene un impacto directo en la resistencia mecánica. Para las diferentes capas del pavimento, se utilizan diversas gradaciones granulométricas. Por lo general, se emplean gradaciones bien distribuidas con el objetivo de lograr la máxima compactación en la capa del pavimento. Los análisis granulométricos se suelen realizar de manera independiente los áridos gruesos y áridos finos. Dichos agregados se pueden combinar de manera que estén dentro de los rangos granulométricos; indicados en la norma MOP-001-F2002 tabla 405-5.1.

Tabla 4.

Rangos Granulométricos

Abertura	Abertura en mm	% en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
		3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
1"	25,40	100	-	-	-
3/4"	19,00	90-100	100	-	-
1/2"	12,70	-	90-100	100	-
3/8"	9,50	56-80	-	90-100	100
N° 4	4,75	35-65	44-74	55-85	80-100
N° 8	2,36	23-49	28-58	32-67	65-100
N° 16	1,18	-	-	-	40-80
N° 30	0,60	-	-	-	25-65
N° 50	0,30	5-19	5-21	7-23	7-40
N° 100	0,15	-	-	-	3-20
N° 200	0,08	2-8	2-10	2-10	2-10

Nota: Tabla tomada de (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

2.3.2.4.2 Gravedad Específica o Peso Específico

El peso específico de un agregado pétreo se define como la relación entre su peso y su volumen. Esta medida es importante para expresar las características de peso y volumen de los agregados, ya que desempeña un papel fundamental en la producción de mezclas

asfálticas. En estas mezclas, tanto el agregado como el cemento asfáltico se miden por peso. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

Si el agregado pétreo es poroso, tiene la capacidad de absorber agua y cemento asfáltico en diferentes proporciones. Por lo tanto, es importante tener en cuenta tres gravedades específicas para considerar las diversas variables en el diseño de la mezcla asfáltica. A continuación, se describen estas gravedades específicas. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- **Gravedad Específica Seca Bulk o Neta de los agregados pétreos**

“La Gravedad Especifica Seca Bulk excluye todos los poros de agua absorbida de una muestra.” (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- **Gravedad Específica Aparente**

“La Gravedad Especifica Aparente excluye el agua absorbida de los poros y espacios capilares, que se llenarían al ser saturada en agua la muestra.” (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- **Gravedad Específica Efectiva**

“La Gravedad Especifica Efectiva excluye el volumen de cemento asfaltico absorbido por los poros y espacios capilares de la muestra. Esta propiedad se la determina mediante los ensayos:” (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- Agregado grueso (retenido tamiz N°4): mediante el ensayo “Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del Agregado (ASTM C 128)”. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- Agregado Fino (pasante tamiz N°4) mediante el ensayo “Determinación de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (ASTM C 128)”. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

2.3.2.4.3 Propiedades específicas del árido grueso

- Forma y angulosidad

La forma de las partículas tiene un impacto en la facilidad de manejo de una mezcla asfáltica durante su colocación, así como en la cantidad de fuerza requerida para compactarla hasta alcanzar la densidad adecuada. Además, la forma de las partículas también influye en la resistencia estructural del pavimento a lo largo de su vida útil. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

Las partículas con formas irregulares y angulares tienden a resistir el movimiento en el pavimento, ya que tienden a entrelazarse cuando se compactan. Las partículas con bordes puntiagudos y forma cúbica, que se obtienen mediante trituración, ofrecen un mejor entrelazamiento. En muchas mezclas asfálticas utilizadas en pavimentación, se encuentran tanto partículas angulares como redondas. Las partículas gruesas, que son más grandes y generalmente provienen de piedras o grava triturada, proporcionan resistencia al pavimento. Por otro lado, las partículas finas de agregado, que son más pequeñas y generalmente se obtienen de arenas naturales, aportan la trabajabilidad necesaria a la mezcla. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- Ensayos Angularidad del Agregado Grueso o Caras Fracturadas (ASTM D 5821- 01)
- Partículas Alargadas y Planas (ASTM D 4791-99).

- **Dureza**

Los materiales utilizados en una mezcla asfáltica deben ser duros y capaces de resistir el desgaste causado por el tráfico y los efectos abrasivos internos. Es importante que los agregados pétreos sean aptos para soportar la abrasión y la degradación durante la producción, colocación, compactación y vida útil de la capa asfáltica. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

Para determinar la resistencia al desgaste de un material pétreo que se utilizará en una mezcla asfáltica en caliente, se realiza el ensayo de abrasión utilizando la Máquina de los Ángeles, que se basa en la norma ASTM C-131. Este método proporciona información sobre la capacidad del material para resistir el desgaste irreversible. (Chamba Gonzaga & Bena Vides Suárez, 2019)

- **Limpieza y adhesividad**

Según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2002), los requisitos para los agregados, tanto triturados como no triturados, incluyen ser limpios, resistentes y sin material orgánico. También deben evitar tener un exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, y estar libres de arcilla. En el caso de los agregados utilizados en las carpetas asfálticas, deben estar completamente secos. En caso contrario, se deben tomar medidas para garantizar que la humedad no supere el 1%.

Para evaluar la capacidad de adhesión de los agregados, se realiza el ensayo de recubrimiento y peladura de mezclas bituminosas, el cual se basa en la norma ASTM D 1664-80. Este ensayo proporciona información sobre la capacidad de los agregados para adherirse al betún o asfalto utilizado en la mezcla.

2.3.2.4.4 Propiedades específicas del árido fino

Porción de material que pasa el tamiz INEN 4.75 mm. (N.º 4) y es retenida en el tamiz INEN 75 micrones (N.º 200) (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

2.3.2.4.5 Material de trituración de 3/16”

El material de trituración de 3/16”, también conocido como polvo de piedra o polvo de trituración, es un material fino resultante del proceso de trituración de rocas o piedras. Se obtiene al pulverizar las rocas mediante maquinaria especializada, como trituradoras, y tamizar el material para obtener partículas de tamaño reducido.

El polvo de piedra suele tener una textura similar a la arena o la harina, con partículas de tamaño inferior a 4,75 mm.

2.4 Ceniza de Cascarilla de arroz (CCA)

2.4.1 Cascarilla de arroz

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), la cascarilla de arroz se considera un subproducto de la producción de arroz. Según estadísticas, aproximadamente el 35% de la cascarilla se utiliza en la industria florícola, otro 35% se quema en las piladoras de arroz, el 7.5% se desecha en los bordes de las carreteras, el 5% se quema en terrenos aislados, el 5% se tira en ríos y el 5% restante se dispersa por el viento. En Ecuador, la cascarilla de arroz ha sido utilizada como combustible alternativo y como abono para cultivos. Además, se están llevando a cabo investigaciones para explorar su posible uso en la industria de la construcción en el futuro. (Bastidas Gutiérrez & Ortiz Vizúete, 2016)

2.4.2 Obtención de la CCA

Nuestro país se destaca por su fuerte enfoque en la agricultura, con extensas áreas dedicadas principalmente al cultivo de arroz. Entre estas zonas destacadas, podemos

mencionar la zona arroceras de Milagro en la provincia de Guayas, así como Babahoyo y otros cantones en la provincia de Los Ríos. (De La Pared Condo, 2011)

La ceniza de cascarilla de arroz puede ser descrita como un material puzolánico resultante del residuo natural de la planta, que posee un alto contenido de sílice. Para su transformación de material orgánico a inorgánico, se somete a un proceso de calcinación a temperaturas que oscilan entre los 500°C y 700°C. (De La Pared Condo, 2011)

En la piladora Coherlo S.A. ubicada en el cantón la cascarilla de arroz se quema en hornos especialmente diseñados para ese propósito, a temperaturas que varían entre 600°C y 800°C. Después de la quema, la ceniza de cascarilla de arroz se apila formando pequeños montículos de este material.

La muestra de ceniza de cascarilla de arroz fue de color negro la cuál según la investigación; se obtiene que cuenta con el 91.26% de Anhídrido Silícico, también conocido como sílice (SiO_2), que en relación con la ceniza de color gris que contiene un 91.34% de SiO_2 . (Bastidas Gutiérrez & Ortiz Vizúete, 2016)

2.4.3 Propiedades de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

Las propiedades químicas de la CCA se demarcan en la tabla a continuación:

Tabla 5.*Propiedades de la CCA*

Composición	%
Residuo insoluble	0.17
Anhídrido Silícico SiO ₂	91.26
Oxido Alumínico Al ₂ O ₃	0.94
Oxido Férrico Fe ₂ O ₃	0.37
Oxido Cálcico CaO	2.15
Oxido Magnésico MgO	0.88

Nota: Tabla tomada de (Bastidas Gutiérrez & Ortiz Vizuete, 2016)

2.5 Comportamiento de las mezclas asfálticas

- Densidad

La densidad de una mezcla compactada se define como el peso de una cantidad específica de la mezcla. Es esencial tener una densidad alta en las mezclas debido a que esto afecta la duración y la resistencia del pavimento. Esta se expresa en Kg/m³. (Alvacora Vidal & Rosero Chavez, 2022)

- Vacíos con aire

Son espacios de aire que están presente en las mezclas y por lo general se encuentran en los agregados que están cubiertos por la mezcla final compactada. Es esencial que todas las mezclas contengan una cantidad de vacíos adecuada para permitir cierta compactación adicional bajo las acciones del tráfico. Esos vacíos deben oscilar entre el 3% y el 5% de acuerdo a lo estipulado en MTOP. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

- **Vacíos en los agregados minerales**

Los Vacíos en el Agregado Mineral (VAM) hace referencia al espacio libre existente en una mezcla de asfalto y agregado mineral. A mayor cantidad de vacíos en el agregado mineral, mayor será el espacio disponible para la distribución del asfalto. De acuerdo a la MTOP, se recomienda un mínimo del 13 % de vacíos en el agregado mineral para una adecuada distribución del asfalto. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

- **Contenido de asfalto**

Es necesario realizar pruebas en laboratorio para establecer el porcentaje de asfalto necesario en la mezcla, siguiendo las normas correspondientes según el método de diseño utilizado. Dicho porcentaje depende de las propiedades del material pétreo, como su granulometría y capacidad de absorción. La forma en que se gradúan los agregados influye directamente en el porcentaje óptimo de asfalto, por lo que se prepara una combinación de tamaños de agregado que permita obtener una granulometría adecuada. (Alvacora Vidal & Rosero Chavez, 2022)

2.6 Métodos de diseño de las mezclas asfálticas

Existen diversos métodos para el diseño de mezclas asfálticas los cuales varían según los agregados que se utilicen, el tipo de mezcla que se requiera, entre otros. A continuación, se detallan los principales métodos de diseño:

2.6.1 Método Superpave

En 1987, el Congreso de Estados Unidos creó el método Superpave con el objetivo de mejorar la seguridad y la durabilidad de las carreteras. Este método se basa en una tecnología que determina las especificaciones del cemento asfáltico y el agregado mineral, y a través del análisis predictivo, evalúa el desempeño del pavimento. Además, el método Superpave

analiza individualmente cada componente de la mezcla asfáltica y su interacción con el resto de los elementos una vez mezclados. (Alvacora Vidal & Rosero Chavez, 2022)

2.6.2 Método Ramcodes

En 1998, F.J Sánchez creó esta metodología que se compone de siete etapas.

Fase 1: Clasificación de geo materiales como suelos y mezclas asfálticas; y determinación del potencial de densificación.

Fase 2: Análisis de la relación entre la humedad, densidad y resistencia en suelos compactados.

Fase 3: Estudio de la resistencia.

Fase 4: Estudio del cambio volumétrico por efectos de hidratación.

Fase 5: Análisis de mezclas asfálticas.

Fase 6: Desarrollo y mantenimiento de un software para implementar Ramcodes.

Fase 7: Metodologías estadísticas para garantizar control de calidad.

2.6.3 Método Marshall

“Este método fue desarrollado por el ingeniero Bruce Marshall (1943) en el estado de Mississippi, Estados Unidos, con el objetivo de determinar el contenido óptimo de asfalto para una determinada granulometría de áridos.” (Sánchez Córdova, 2021). Este método se basa en la norma ASTM D 15559. Este método se basa en la norma ASTM D 15559.

Este método emplea muestras cuyas dimensiones aproximadas son 6.35cm de alto y 10.16 cm de diámetro. Las mismas son preparadas siguiendo lo especificado para calentar, mezclar y compactar las mezclas de agregados y cemento asfáltico.

Las 2 características esenciales del ensayo son un análisis de Densidad-Vacíos y una prueba de Estabilidad-Flujo

La estabilidad representa la capacidad máxima de la muestra para resistir cargas a una temperatura de 60°C durante una prueba, mientras que el flujo indica el total de deformación que experimenta la muestra, desde el principio sin carga hasta alcanzar la carga máxima aplicada durante la prueba.

Para llevar a cabo el ensayo Marshall es necesario un equipo que está conformado por un molde de compactación especial de 10.16 cm de diámetro por 6.35 cm de altura con un collarín de extensión, un martillo de compactación con una zapata circular de 6.35 cm y 2.22 cm de diámetro, un pedestal de compactación que esté anclado en el suelo, una prensa de ensayo y mordazas especiales para el ensayo que vengan con sus respectivas guías.

Adicionalmente también se requiere termómetros, bandejas metalizas, estufa, baño maría, balanzas, espátulas, guantes, tamices, entre otros.

Figura 1.

Equipo para la elaboración de briquetas



Nota: Fuente: Autores

Figura 2.

Prensa para ensayo Marshall



Nota: Fuente: Autores

Figura 3.

Mordazas



Nota: Fuente: Autores

De acuerdo a la MTOP, para emplear el método Marshall, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 6.*Criterios según la MTOP*

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano		
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
CRITERIOS MARSHALL									
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50		
Estabilidad (libras)	2200	-	1800	-	1200	-	1000	2400	
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16	
Capa de rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5	
% de vacíos en mezclas	Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
	Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5								
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2					
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente	Capa de Rodadura	70	-	70	-				
	Intermedia o base	60	-	60	-				

Nota: Tabla tomada de (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

Tabla 7.*Crterios según la MTOP*

Tipo de Mezcla	VAM. Mínimo (%)
A	16
B	15
C, D	14
E	13

Nota: Tabla tomada de (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de titulación, es necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio, procedimientos y cálculos para identificar la muestra que cumpla con los requisitos establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Estas pruebas abordarán tanto los agregados pétreos como las muestras generadas con diferentes proporciones de asfalto (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%).

Una vez obtenidas las muestras, se procederá a realizar las briquetas sustituyendo al llenante mineral “filler” por la CCA en diferentes proporciones (20%, 40%, 60%, 80%, 100%) ,basándonos en bibliografía revisada (Shafabakhsh et al., 2018), siguiendo los mismos ensayos utilizados para evaluar las briquetas de la muestra patrón. Esto permitirá comparar y analizar los datos obtenidos, asegurando un estudio completo y riguroso.

Finalmente, se tabularán y estudiarán los resultados obtenidos en los ensayos, analizando la información recopilada. Esto proporcionará una base sólida para determinar la muestra que cumpla con los requisitos establecidos por el MTO en términos de calidad y desempeño de las mezclas asfálticas.

3.1 Caracterización de los agregados

3.1.1 Granulometrías independientes

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696:2011, redacta los procedimientos y procesos para e análisis granulométrico en los áridos, fino y gruesos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

Tabla 8.*Granulometría de 3/4*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
3"	76,2				
2 1/2"	63,5				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,1	0	0	0,00	100
1/2"	12,7	4858	4858	97,37	3
3/8"	9,52	95	4953	99,28	1
N°4	4,76	25	4978	99,78	0
Fondo		11	4989	100,00	0

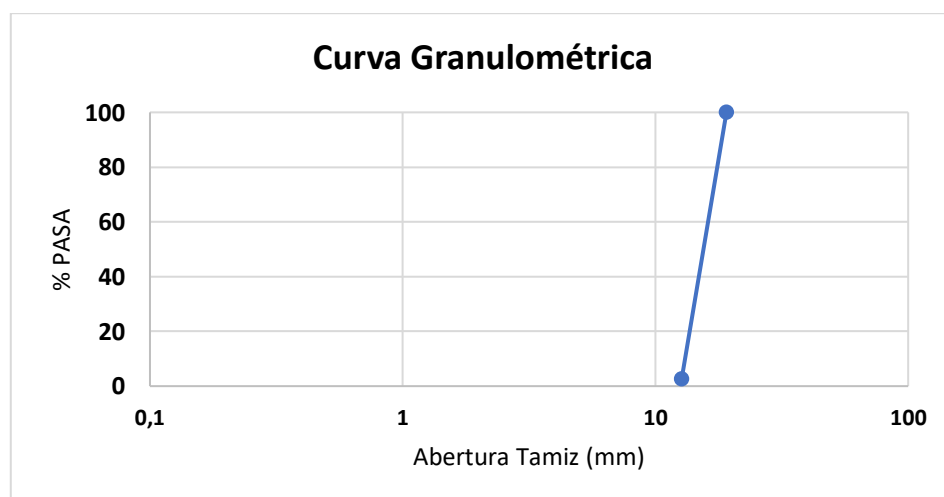
*Nota: Fuente: Autores***Figura 4.***Curva Granulométrica de 3/4**Nota: Fuente: Autores*

Tabla 9.*Granulometría de 3/8*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	peso retenido acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
3"	76,2				
2 1/2"	63,5				
2"	50,8				
1 1/2"	38,1				
1"	25,4				
3/4"	19,1				
1/2"	12,7				
3/8"	9,52	0	0	0,00	100
N°4	4,76	985	985	98,80	1
Fondo		12	997	100,00	0

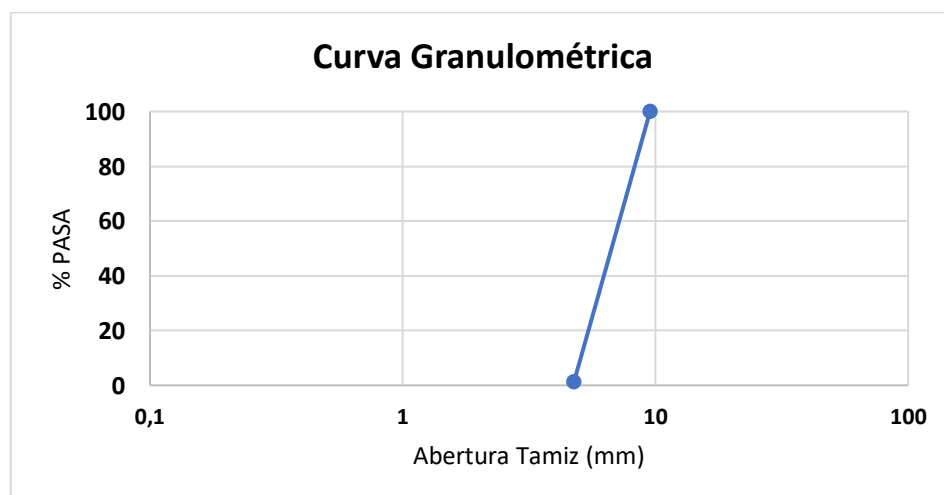
*Nota: Fuente: Autores***Figura 5.***Curva Granulométrica de 3/8**Nota: Fuente: Autores*

Tabla 10.*Granulometría de la arena*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
1"	25,4				
3/4"	19,1				
1/2"	12,7				
3/8"	9,52	0	0	0	100
N°4	4,76	18	18	3,60	96
N°8	2,38	61	79	15,82	84
N°16	1,19	82	161	32,24	68
N°30	0,58	119,5	280,5	56,17	44
N°50	0,3	117,16	397,66	79,63	20
N°100	0,15	67,59	465,25	93,17	7
N°200	0,075	25,43	490,68	98,26	2
Fondo		8,68	499,36	100,00	0

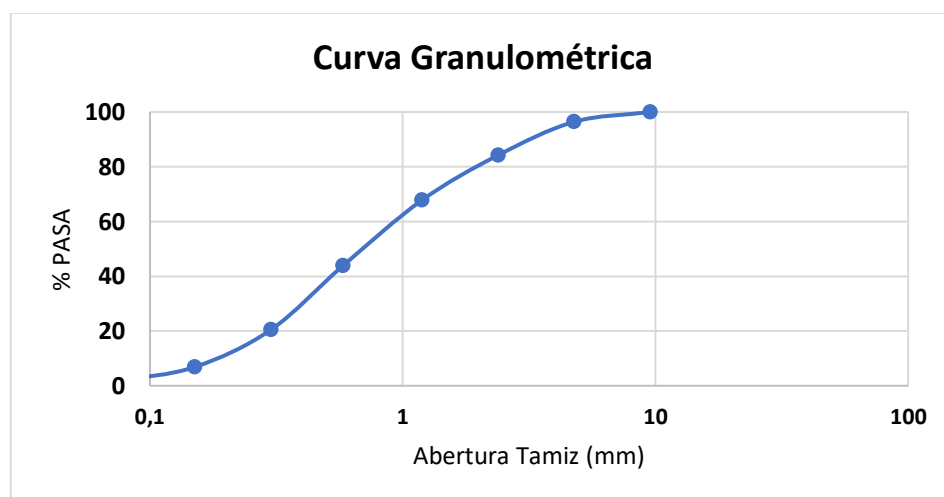
*Nota: Fuente: Autores***Figura 6.***Curva Granulométrica de la arena**Nota: Fuente: Autores*

Tabla 11.*Granulometría del material de trituración de 3/16"*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
1"	25,4				
3/4"	19,1				
1/2"	12,7				
3/8"	9,52	0	0	0	100
N°4	4,76	14,34	14,34	2,88	97
N°8	2,38	164,3	178,64	35,90	64
N°16	1,19	104,8	283,44	56,96	43
N°30	0,58	78,24	361,68	72,68	27
N°50	0,3	53,85	415,53	83,50	16
N°100	0,15	53,79	469,32	94,31	6
N°200	0,075	20,39	489,71	98,41	2
Fondo		7,93	497.64	100,00	0

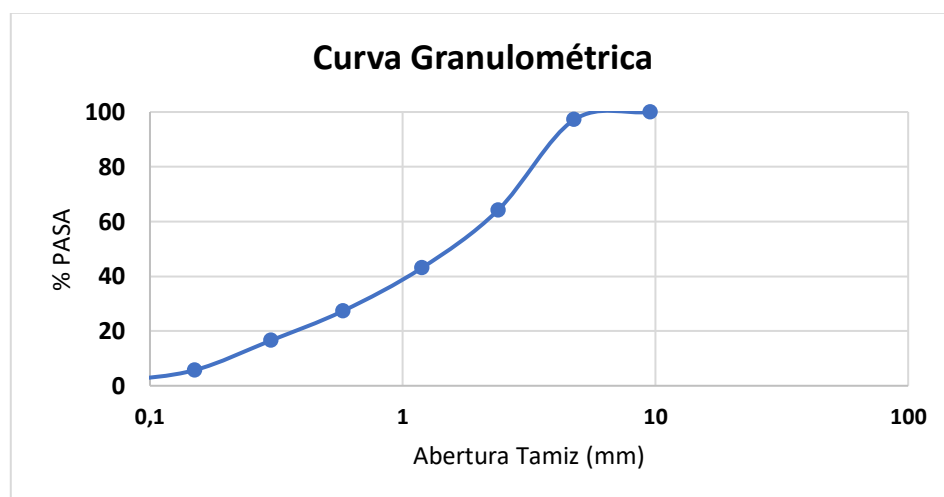
*Nota: Fuente: Autores***Figura 7.***Curva Granulométrica del material de trituración de 3/16"**Nota: Fuente: Autores*

Tabla 12.*Granulometría del llenante mineral "filler"*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
1"	25,4				
3/4"	19,1				
1/2"	12,7				
3/8"	9,52				
N°4	4,76				
N°8	2,38				
N°16	1,19				
N°30	0,58				
N°50	0,3				
N°100	0,15				
N°200	0,075	0	0	0	100
Fondo		500	500	100	0

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 13.***Granulometría del CCA*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa
1"	25,4				
3/4"	19,1				
1/2"	12,7				
3/8"	9,52				
N°4	4,76				
N°8	2,38				
N°16	1,19				
N°30	0,58				
N°50	0,3				
N°100	0,15				
N°200	0,075	0	0	0	100
Fondo		500	500	100	0

Nota: Fuente: Autores

3.1.2 Peso Específico de cada agregado

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857:2010, redacta los procedimientos y procesos para la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010b)

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856:2010, redacta los procedimientos y procesos para la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a)

Figura 8.

Material Saturado



Nota: Fuente: Autores

Figura 9.*Proceso del ensayo**Nota: Fuente: Autores*

Para hallar la densidad de los agregados gruesos se tiene que:

A: Peso del Material Superficialmente Seco y Saturado

B: Peso del Picnómetro + Agua + Muestra

C: Peso del Picnómetro + Agua

D: Peso del Material Seco

Considerando que:

$$\text{Peso Específico Seco} = \frac{D}{A-(B-C)}$$

$$\text{Peso Específico Saturado Superficialmente Seco} = \frac{A}{A-(B-C)}$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{D-(B-C)}$$

3.2 Diseño de la mezcla de agregados para la muestra patrón

Para la respectiva mezcla de los agregados, se debe tomar en cuenta el libro de “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” MOP-001-F 2002.

En el cual indica los rangos granulométricos para mezclas asfálticas.

Tabla 14.

Rangos Granulométricos

Abertura	Abertura en mm	% en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
		3/4"	1/2"	3/8"	N° 4
1"	25,40	100	-	-	-
3/4"	19,00	90-100	100	-	-
1/2"	12,70	-	90-100	100	-
3/8"	9,50	56-80	-	90-100	100
N° 4	4,75	35-65	44-74	55-85	80-100
N° 8	2,36	23-49	28-58	32-67	65-100
N° 16	1,18	-	-	-	40-80
N° 30	0,60	-	-	-	25-65
N° 50	0,30	5-19	5-21	7-23	7-40
N° 100	0,15	-	-	-	3-20
N° 200	0,08	2-8	2-10	2-10	2-10

Nota: Tabla tomada de (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

Para la elaboración de las briquetas compactas se recomienda que la combinación de agregados y cemento asfáltico tenga un peso de 1200 gramos. Para lograr dicho peso, se deben calcular las cantidades adecuadas de cada fracción de material pétreo y cemento asfáltico.

Para la mezcla que contiene un porcentaje de 5% las cantidades se determinan empleando el siguiente procedimiento:

Dado que la mezcla de 1200 gramos incluye un 5% de cemento asfáltico, el restante 95% de la mezcla se compone de los agregados pétreos.

%Material Triturado 3/4 " con respecto a la mezcla total = $25 \cdot 0,95$

%Material Triturado 3/4 " con respecto a la mezcla total = 23,75

%Material Triturado 3/8 " con respecto a la mezcla total = $15 \cdot 0,95$

%Material Triturado 3/8 " con respecto a la mezcla total = 14,25

%Material Triturado 3/16 " con respecto a la mezcla total = $41 \cdot 0,95$

%Material Triturado 3/16 " con respecto a la mezcla total = 38,95

%Arena con respecto a la mezcla total = $14 \cdot 0,95$

%Arena con respecto a la mezcla total = 13,30

%Llenante mineral "filler" con respecto a la mezcla total = $5 \cdot 0,95$

%Llenante mineral "filler" con respecto a la mezcla total = 4,75

%Cemento asfalto AC-20 con respecto a la mezcla total = 5

Total = 100%

Debido a que se requiere que la muestra tenga un peso de 1200 gramos, se realiza el cálculo para determinar la cantidad en gramos de cada material que debe ser incluido en ella.

$\% \text{Material Triturado } 3/4 \text{ " } = 1200 * 0,2375$

$\% \text{Material Triturado } 3/4 \text{ " } = 285,00\text{gr}$

$\% \text{Material Triturado } 3/8 \text{ " } = 1200 * 0,1425$

$\% \text{Material Triturado } 3/8 \text{ " } = 171,00\text{gr}$

$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " } = 1200 * 0,3895$

$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " } = 467,40\text{gr}$

$\% \text{Arena} = 1200 * 0,1330$

$\% \text{Arena} = 159,60\text{gr}$

$\% \text{Llenante mineral "filler"} = 1200 * 0,0475$

$\% \text{Llenante mineral "filler"} = 57,00\text{gr}$

$\% \text{Cemento asfalto AC-20 con respecto a la mezcla total} = 1200 * 0,05$

Cemento Asfáltico AC-20 = 60gr

Total = 1200gr

De acuerdo al proceso anteriormente descrito, se aplicó el mismo método para calcular los pesos correspondientes a los porcentajes restantes.

Tabla 15.

Mezcla con el 5% de asfalto

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,75	285,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,25	171,00
Material Triturado 3/16"	41,00	38,95	467,40
Arena	14,00	13,30	159,60
Llenante mineral "filler"	5,00	4,75	57,00
Cemento Asfáltico AC-20	5,00	5,00	60,00
	105,00	100,00	1200,00

Nota: Fuente: Autores

Tabla 16.

Mezcla con el 5,5% de asfalto

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,63	283,50
Material Triturado 3/8"	15,00	14,18	170,10
Material Triturado 3/16"	41,00	38,75	464,94
Arena	14,00	13,23	158,76
Llenante mineral "filler"	5,00	4,73	56,70
Cemento Asfáltico AC-20	5,50	5,50	66,00
	105,50	100,00	1200,00

Nota: Fuente: Autores

Tabla 17.*Mezcla con el 6% de asfalto*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	5,00	4,70	56,40
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 18.***Mezcla con el 6,5% de asfalto*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,38	280,50
Material Triturado 3/8"	15,00	14,03	168,30
Material Triturado 3/16"	41,00	38,34	460,02
Arena	14,00	13,09	157,08
Llenante mineral "filler"	5,00	4,68	56,10
Cemento Asfáltico AC-20	6,50	6,50	78,00
	106,50	100,00	1200,00

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 19.***Mezcla con el 7% de asfalto*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,25	279,00
Material Triturado 3/8"	15,00	13,95	167,40
Material Triturado 3/16"	41,00	38,13	457,56
Arena	14,00	13,02	156,24
Llenante mineral "filler"	5,00	4,65	55,80
Cemento Asfáltico AC-20	7,00	7,00	84,00
	107,00	100,00	1200,00

Nota: Fuente: Autores

3.2.1 Curva granulométrica ajustada a los límites indicados

Tabla 20.

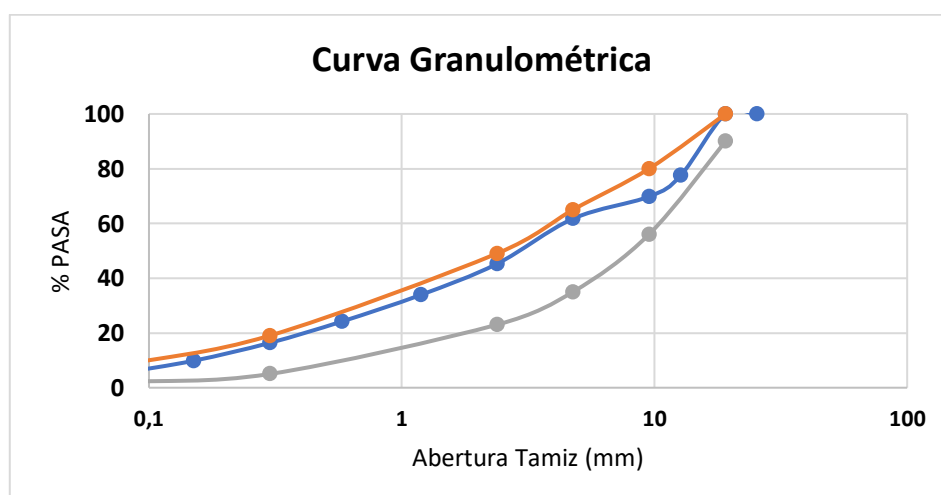
Granulometría del material

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gramos)	Peso Retenido Acumulado (gramos)	% Retenido	% Pasa	Límite Superior	Límite Inferior
1"	25,4	0	0	0	100		
3/4"	19,1	0	0	0	100	100	90
1/2"	12,7	1122,5	1122,5	22,5	77,5		
3/8"	9,52	384	1506,5	30,19	69,81	80	56
N°4	4,76	403	1909,5	38,27	61,73	65	35
N°8	2,38	823	2732,5	54,76	45,24	49	23
N°16	1,19	565	3297,5	66,09	33,91		
N°30	0,58	485	3782,5	75,81	24,19		
N°50	0,3	391	4173,5	83,65	16,35	19	5
N°100	0,15	325	4498,5	90,16	9,84		
N°200	0,075	235,53	4734,03	94,88	5,12	8	2
Fondo		255,5	4989,53	100	0		

Nota: Fuente: Autores

Figura 10.

Curva Granulométrica ajustada a los límites



Nota: Fuente: Autores

3.3 Elaboración de probetas para la muestra patrón

La normativa que rige la elaboración de briquetas para el ensayo Marshall es la norma ASTM D1559, titulada "Método de prueba estándar para la resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall"

Figura 11.

Procedimiento para la elaboración de las probetas



Nota: Fuente: Autores

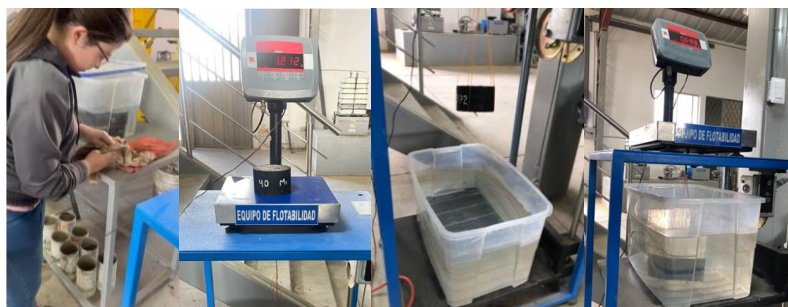
3.4 Ensayos a las probetas para la muestra patrón

3.4.1 Ensayo Bulk

El peso específico volumétrico de una probeta compactada se define como la relación entre su peso en el aire y su volumen total, que incluye los espacios vacíos permeables. Este ensayo sigue las normas establecidas por ASTM D1188 o ASTM D2726.

Figura 12.

Proceso del ensayo



Nota: Fuente: Autores

El peso específico Bulk se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Específico Buk} = \frac{D}{F-E}$$

Siendo:

D: Peso de la probeta seca en el aire

E: Peso de la probeta en el agua

F: peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca, se recomienda que la probeta permanezca saturada en un lapso de 24 horas.

3.4.2 Peso específico máximo medido - Método Rice

Este ensayo debe determinarse mediante “el método desarrollado por James Rice, su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada”, este método se utiliza bajo la normativa ASTM D2041.

Figura 13.

Proceso del ensayo



Nota: Fuente: Autores

$$\text{Peso Específico M\u00e1ximo Medido} = \frac{A}{A-(E-D)}$$

Donde:

A: peso de la muestra

E: peso de la muestra + picn\u00f3metro + agua

D: peso del picn\u00f3metro + agua

3.4.3 Ensayo Marshall para Estabilidad y Flujo

La normativa que se utiliza para la evaluaci\u00f3n de la estabilidad y el flujo en las probetas es la ASTM D1559, titulada "M\u00e9todo de prueba est\u00e1ndar para la resistencia al flujo pl\u00e1stico de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall"

Al tener el equipo Marshall autom\u00e1tico, no es necesario el uso de un dial para la obtenci\u00f3n de resultados; obteniendo los resultados de estabilidad y flujo directamente del equipo.

Figura 14.

Proceso de ensayo



Nota: Fuente: Autores

3.5 Diseño de la mezcla de agregados con la adición de CCA

Luego de llevar a cabo los ensayos pertinentes a las briquetas y analizar los resultados, se ha concluido que la composición más exitosa es aquella que incluye un 6% de asfalto, un 60% de agregado grueso y un 40% de agregado fino.

Para llevar a cabo la mezcla de la muestra patrón con la CCA, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica. Como resultado de dicha revisión, se ha concluido que la forma más precisa de hacerlo es sustituyendo la CCA por el llenante mineral “filler”, ya que ambos tienen una granulometría similar. En consecuencia, se procedió a sustituir el 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de este agregado fino en la mezcla.

Para la mezcla que contiene un 20% de CCA las cantidades se determinan empleando el siguiente procedimiento:

Dado que la mezcla de 1200 gramos incluye un 6% de cemento asfáltico, el restante 94% de la mezcla se compone de los agregados pétreos.

$$\% \text{Material Triturado } 3/4 \text{ " con respecto a la mezcla total} = 25 * 0,94$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/4 \text{ " con respecto a la mezcla total} = \mathbf{23,50}$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/8 \text{ " con respecto a la mezcla total} = 15 * 0,94$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/8 \text{ " con respecto a la mezcla total} = \mathbf{14,10}$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " con respecto a la mezcla total} = 41 * 0,94$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " con respecto a la mezcla total} = \mathbf{38,54}$$

%Arena con respecto a la mezcla total = $14 \cdot 0,94$

%Arena con respecto a la mezcla total = 13,16

%Llenante mineral "filler" con respecto a la mezcla total = $4 \cdot 0,94$

%Llenante mineral "filler" con respecto a la mezcla total = 3,76

%CCA con respecto a la mezcla total = $1 \cdot 0,94$

%CCA con respecto a la mezcla total = 0,94

%Cemento asfalto AC-20 con respecto a la mezcla total = 6

Total = 100%

Debido a que se requiere que la muestra tenga un peso de 1200 gramos, se realiza el cálculo para determinar la cantidad en gramos de cada material que debe ser incluido en ella.

%Material Triturado $\frac{3}{4}$ " = $1200 \cdot 0,2350$

%Material Triturado $\frac{3}{4}$ " = 282,00gr

%Material Triturado $\frac{3}{8}$ " = $1200 \cdot 0,1410$

%Material Triturado $\frac{3}{8}$ " = 169,20gr

$$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " } = 1200 * 0,3854$$

$$\% \text{Material Triturado } 3/16 \text{ " } = 462,48\text{gr}$$

$$\% \text{Arena} = 1200 * 0,1316$$

$$\% \text{Arena} = 157,92\text{gr}$$

$$\% \text{Llenante mineral "filler"} = 1200 * 0,0376$$

$$\% \text{Llenante mineral "filler"} = 45,12\text{gr}$$

$$\% \text{CCA} = 1200 * 0,0094$$

$$\% \text{CCA} = 11,28\text{gr}$$

$$\% \text{Cemento asfalto AC-20 con respecto a la mezcla total} = 1200 * 0,06$$

$$\text{Cemento Asfáltico AC-20} = 72\text{gr}$$

$$\text{Total} = 1200\text{gr}$$

De acuerdo al proceso anteriormente descrito, se aplicó el mismo método para calcular los pesos correspondientes a los porcentajes restantes.

Tabla 21.*Mezcla con el 20% de CCA*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	4,00	3,76	45,12
Ceniza de Cascarilla de Arroz	1,00	0,94	11,28
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 22.***Mezcla con el 40% de CCA*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	3,00	2,82	33,84
Ceniza de Cascarilla de Arroz	2,00	1,88	22,56
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

Nota: Fuente: Autores

Tabla 23.*Mezcla con el 60% de CCA*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	2,00	1,88	22,56
Ceniza de Cascarilla de Arroz	3,00	2,82	33,84
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 24.***Mezcla con el 80% de CCA*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	1,00	0,94	11,28
Ceniza de Cascarilla de Arroz	4,00	3,76	45,12
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

*Nota: Fuente: Autores***Tabla 25.***Mezcla con el 100% de CCA*

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Material Triturado 3/4"	25,00	23,50	282,00
Material Triturado 3/8"	15,00	14,10	169,20
Material Triturado 3/16"	41,00	38,54	462,48
Arena	14,00	13,16	157,92
Llenante mineral "filler"	0,00	0,00	0,00
Ceniza de Cascarilla de Arroz	5,00	4,70	56,40
Cemento Asfáltico AC-20	6,00	6,00	72,00
	106,00	100,00	1200,00

Nota: Fuente: Autores

3.6 Elaboración de probetas para la muestra con CCA

De igual manera que en la elaboración de las briquetas para la muestra patrón; se utilizó la normativa que rige la elaboración de briquetas para el ensayo Marshall es la norma ASTM D1559, titulada "Método de prueba estándar para la resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall"

Figura 15.

Procedimiento para la elaboración de las probetas



Nota: Fuente: Autores

3.7 Ensayos realizados a las briquetas con CCA

3.7.1 Ensayo Bulk

El peso específico volumétrico de una probeta compactada se define como la relación entre su peso en el aire y su volumen total, que incluye los espacios vacíos permeables. Este ensayo sigue las normas establecidas por ASTM D1188 o ASTM D2726.

Figura 16.*Proceso del ensayo**Nota: Fuente: Autores*

El peso específico Bulk se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Específico Buk} = \frac{D}{F-E}$$

Siendo:

D: Peso de la probeta seca en el aire

E: Peso de la probeta en el agua

F: Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca, se recomienda que la probeta permanezca saturada en un lapso de 24 horas.

3.7.2 Peso específico máximo medido – Método Rice

Este ensayo debe determinarse mediante “el método desarrollado por James Rice, su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada”, este método se utiliza bajo la normativa ASTM D2041.

Figura 17.*Proceso del ensayo**Nota: Fuente: Autores*

$$\text{Peso Específico Máximo Medido} = \frac{A}{A-(E-D)}$$

Donde:

A: peso de la muestra

E: peso de la muestra + picnómetro + agua

D: peso del picnómetro + agua

3.7.3 Ensayo Marshall para Estabilidad y Flujo

La normativa que se utiliza para la evaluación de la estabilidad y el flujo en las probetas es la ASTM D1559, titulada "Método de prueba estándar para la resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall"

Al tener el equipo Marshall automático, no es necesario el uso de un dial para la obtención de resultados; obteniendo los resultados de estabilidad y flujo directamente del equipo.

Figura 18.

Proceso de ensayo



Nota: Fuente: Autores

CAPITULO IV

RESULTADOS

Tras concluir los diversos diseños de mezclas asfálticas para la muestra patrón, en conjunto con la inclusión de ceniza de cascarilla de arroz y los correspondientes ensayos, se lograron obtener resultados que revelan las propiedades físicas y mecánicas de las briquetas elaboradas. A continuación, se procederá a realizar un análisis comparativo detallado acerca de los diferentes parámetros que la normativa del Ministerio de transporte y Obras Públicas (MTO) considera fundamentales para que una mezcla asfáltica alcance la calidad óptima.

4.1 Análisis de la mezcla asfáltica patrón

Tabla 26.

Resultados obtenidos en el laboratorio para la muestra patrón

Mezcla N°	% Asfalto	Espesor Probeta (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO			ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN - % TOTAL			Vacíos en agregados minerales	% Asfalto efectivo	Peso Unitario lb/pie3	ESTABILIDAD lb		Flujo 0.01"	Vacíos lentos de asfalto	
			Seca en aire	S.S.S. en aire	En agua	BULK	Máximo Teórico (Gmt)	Máximo Medido (Gmm)		Agregados	Vacíos con Aire	Asfalto efectivo				Estabilidad Medida	Estabilidad Corregida			
a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
1	5	6,713	1187,5	1196,0	680,0	2,301										5,84	5,43	4,60		
		6,493	1196,5	1205,0	692,0	2,332											8,83	8,48	4,57	
		6,430	1193,5	1204,5	687,0	2,306											8,46	8,46	5,60	
PROMEDIO			1192,5	1201,83	686,3	2,313	2,432	2,540	1,84	83,8	8,9	7,3	16,2	3,25	144,331	7,71	7,46	4,93	45,06	
2	5,5	6,508	1185,5	1195,0	699,0	2,39										10,26	9,85	4,86		
		6,438	1188,0	1195,0	702,0	2,41											9,8	9,80	6,04	
		6,503	1187,0	1194,0	701,0	2,408											9,5	9,12	5,54	
PROMEDIO			1186,8	1194,7	700,7	2,403	2,415	2,55	2,36	86,6	5,9	7,5	13,4	3,27	149,947	9,8533333	9,59	5,48	55,97	
3	6	6,543	1200,5	1203,0	702,0	2,396										10,66	10,23	4,31		
		6,458	1191,5	1197,0	698,0	2,388											9,87	9,87	4,04	
		6,475	1203,5	1208,5	704,0	2,386											10,425	10,01	4,10	
PROMEDIO			1198,5	1202,8	701,3	2,39	2,397	2,497	1,78	85,7	4,3	10	14,3	4,33	149,136	10,32	10,04	4,15	69,93	
4	6,5	6,628	1190,5	1195,0	695,0	2,381										10,41	9,68	5,72		
		6,568	1194,5	1200,0	698,0	2,379											10,35	9,94	5,72	
		6,638	1195,0	1201,5	697,0	2,369											10,56	9,82	5,37	
PROMEDIO			1193,3	1198,8	696,7	2,376	2,38	2,524	2,56	84,7	5,9	9,4	15,3	4,11	148,262	10,44	9,81	5,60	61,44	
5	7	6,433	1193,5	1196,0	704,0	2,426										9,75	9,36	5,64		
		6,440	1194,0	1197,0	703,0	2,417											9,62	9,62	5,47	
		6,478	1192,0	1198,5	704,5	2,413											9,38	9,00	5,28	
PROMEDIO			1193,2	1197,2	703,8	2,419	2,364	2,500	2,47	85,8	3,2	11	14,2	4,7	150,946	9,58	9,33	5,47	77,46	

Nota: Fuente: Autores

Después de obtener los resultados del análisis realizado en laboratorio, es posible llevar a cabo una evaluación de los porcentajes de CCA que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la MTOP y aquellos que no han alcanzados los rangos definidos.

Tabla 27.

Comparación de resultados de 5% con lo especificado en la MTOP.

%5 de Cemento Asfáltico AC - 20			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	7,46	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	4,93	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	8,9	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	16,2	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	45,06	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 28.

Comparación de resultados de 5,5% con lo especificado en la MTOP.

%5,5 de Cemento Asfáltico AC - 20			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	9,59	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	5,48	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	5,9	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	13,4	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	55,97	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 29.

Comparación de resultados de 6% con lo especificado en la MTOP.

%6 de Cemento Asfáltico AC - 20			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	10,04	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	4,15	2 - 4,5 mm	CUMPLE
% Vacíos con aire	4,3	3 - 5 %	CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	14,3	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	69,93	65 - 75 %	CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 30.

Comparación de resultados de 6,5% con lo especificado en la MTOP.

%6,5 de Cemento Asfáltico AC - 20			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	9,81	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	5,6	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	5,9	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	15,3	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	61,43	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 31.

Comparación de resultados de 7% con lo especificado en la MTOP.

%7 de Cemento Asfáltico AC - 20			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	9,33	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	5,47	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	3,2	3 - 5 %	CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	14,2	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	77,46	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

De esta forma, se obtiene un único porcentaje óptimo que cumple con los parámetros de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos con agregado y, de manera igualmente importante, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto. El porcentaje óptimo de cemento asfáltico dentro de las mezclas asfálticas se establece en un 6%.

4.2 Análisis de las mezclas asfálticas con CCA

Una vez obtenida una mezcla patrón óptima, podemos proceder con la evaluación de las briquetas elaboradas utilizando un 6% de cemento asfáltico como referencia, junto con una variación del llenante mineral "Filler" en rangos del 20%, 40%, 60%, 80% y 100% por CCA. Esto nos permitirá comprender el comportamiento de las briquetas en relación a los parámetros establecidos por el MTOP, así como realizar una comparación con la muestra óptima previamente obtenida. De esta manera, podremos analizar en profundidad los resultados y determinar la influencia de las diferentes concentraciones de ceniza de cascarilla de arroz en las propiedades de las briquetas.

Tabla 32.

Resultados obtenidos en el laboratorio con CCA

% CCA	Mezcla N°	% Asfalto	PESO EN GRAMOS				PESO ESPECÍFICO			ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN - % TOTAL				% Asfalto efectivo	Peso Unitario lb/pie ³	ESTABILIDAD lb			Vacíos llenos de asfalto	
			Esesor Probeta (cm)	Seca en aire	S.S.S. en aire	En agua	BULK	Máximo Teórico (Gmt)	Máximo Medido (Gmm)		Agregados	Vacíos con Aire	Asfalto efectivo	Vacíos en agregados minerales			Estabilidad Medida	Estabilidad Corregida	Flujo 0.01"		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
20	1	6	6,245	1188,0	1195,0	697,0	2,386										9,952	10,35	4,34		
			6,315	1195,0	1202,0	698,0	2,371											10,109	10,11	4,33	
			6,235	1188,0	1193,0	694,0	2,381											9,852	10,25	4,59	
	PROMEDIO		1190,3	1196,67	696,3	2,379	2,432	2,488	0,98	85,3	4,4	10,3	14,7	5,08	148,470	9,97	10,24	4,42	70,07		
40	2	6	6,340	1206,0	1210,5	705,0	2,386										10,35	10,35	4,18		
			6,260	1188,0	1198,5	697,0	2,369											10,236	10,65	4,30	
			6,350	1200,0	1202,0	700,0	2,39											10,398	10,40	4,52	
	PROMEDIO		1198,0	1203,7	700,7	2,382	2,415	2,48	1,23	85,4	4,1	10,5	14,6	4,84	148,637	10,328	10,46	4,33	71,92		
60	3	6	3,365	1192,5	1198,0	685,0	2,325										12,4	12,40	4,88		
			6,515	1197,5	1204,0	681,0	2,29											10,72	10,29	5,38	
			6,370	1194,5	1201,0	688,0	2,328											11,37	11,37	4,88	
	PROMEDIO		1194,8	1201,0	684,7	2,314	2,397	2,511	2,01	83	7,8	9,2	17	4,11	144,394	11,50	11,35	5,05	54,12		
80	4	6	6,535	1184,0	1192,0	672,0	2,277										12,082	11,60	4,70		
			6,645	1190,0	1196,0	664,0	2,237											9,424	8,76	5,57	
			6,750	1199,0	1209,0	670,0	2,224											9,13	8,13	5,81	
	PROMEDIO		1191,0	1199,0	668,7	2,246	2,38	2,506	2,25	80,5	10,4	9,1	19,5	3,89	140,150	10,212	9,50	5,36	46,67		
100	5	6	6,645	1189,0	1195,0	657,0	2,21										9,934	9,24	4,62		
			6,225	1087,5	1094,0	591,0	2,162											8,41	8,75	5,14	
			6,720	1208,0	1213,0	671,0	2,229											10,81	9,62	4,56	
	PROMEDIO		1161,5	1167,3	639,7	2,2	2,364	2,513	2,66	78,9	12,4	8,7	21,1	3,5	137,280	9,72	9,20	4,77	41,23		

Nota: Fuente: Autores

Tras haber obtenido los resultados ya mencionados en la tabla 31, se puede desplegar una evaluación minuciosa de cuáles son los porcentajes de sustitución de CCA por el llenante mineral Filler son efectivos y cuales no han cumplido por los parámetros base.

Tabla 33.

Comparación de resultados de 20% con lo especificado en la MTOP.

20% de Ceniza de Cascarilla de Arroz			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	10,24	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	4,42	2 - 4,5 mm	CUMPLE
% Vacíos con aire	4,4	3 - 5 %	CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	14,7	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	70,07	65 - 75 %	CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 34.

Comparación de resultados de 40% con lo especificado en la MTOP.

40% de Ceniza de Cascarilla de Arroz			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	10,46	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	4,33	2 - 4,5 mm	CUMPLE
% Vacíos con aire	4,1	3 - 5 %	CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	14,6	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	71,92	65 - 75 %	CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 35.

Comparación de resultados de 60% con lo especificado en la MTOP.

60% de Ceniza de Cascarilla de Arroz			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	11,35	4,45 - 10,68 kN	NO CUMPLE
Flujo (mm)	5,05	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	7,8	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	17	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	54,12	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 36.

Comparación de resultados de 80% con lo especificado en la MTOP.

80% de Ceniza de Cascarilla de Arroz			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	9,5	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	5,36	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	10,4	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	19,5	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	46,67	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Tabla 37.

Comparación de resultados de 100% con lo especificado en la MTOP.

100% de Ceniza de Cascarilla de Arroz			
Parámetro	Lectura	Especificación	Observaciones
Estabilidad (kN)	9,2	4,45 - 10,68 kN	CUMPLE
Flujo (mm)	4,77	2 - 4,5 mm	NO CUMPLE
% Vacíos con aire	12,4	3 - 5 %	NO CUMPLE
% Vacíos con agregado mineral (VAM)	21,1	13 % min	CUMPLE
% Vacíos llenos de asfalto (VFA)	41,23	65 - 75 %	NO CUMPLE

Nota: Fuente: Autores

Después de analizar detenidamente estos resultados, se puede comprobar que al reemplazar el 20% y 40% de ceniza de cascarilla de arroz por la llenante mineral filler, las propiedades evaluadas por el MTOP para determinar la funcionalidad del asfalto se cumplen y se encuentran dentro de los parámetros establecidos. Esto indica que la incorporación de la ceniza de cascarilla de arroz ha sido efectiva para alcanzar las características deseadas en las mezclas asfálticas.

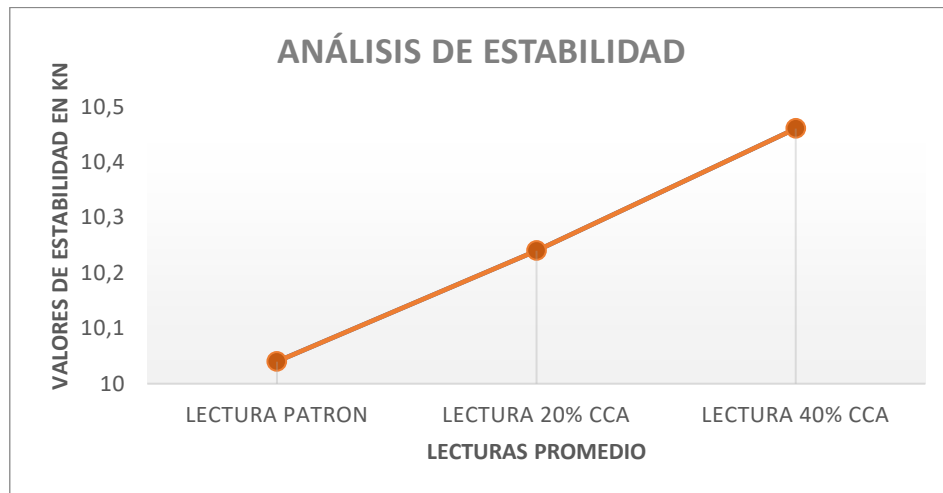
4.3 Análisis de un asfalto tradicional con un 20% y 40% de CCA

En esta sección se realizará una evaluación de los porcentajes de sustitución que han cumplido con los parámetros base, en comparación con la muestra patrón. Se llevará a cabo un análisis gráfico de cada uno de los incisos que el MTOP evalúa, destacando sus características distintivas.

4.3.1 Estabilidad

Figura 19.

Análisis de Estabilidad



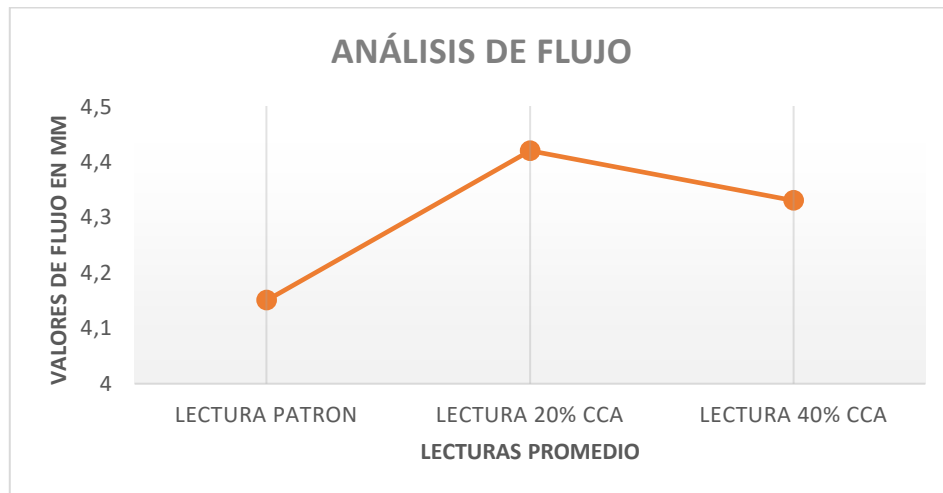
Nota: Fuente: Autores

El parámetro de estabilidad, que ha sido validada de acuerdo con los criterios previamente establecidos, se encuentra respaldada por la representación gráfica proporcionada. Dicha representación gráfica exhibe un aumento significativo en la resistencia a través del uso de un porcentaje de reemplazo del 20 % de Ceniza de Cascarilla de Arroz, el cual ha incrementado de 10.04 kN, valor característico de la mezcla patrón, a 10.24 kN. Asimismo, al emplear un porcentaje de reemplazo del 40 %, se evidencia una mejora aún más destacada en la estabilidad, alcanzando un valor de 10.46 kN.

4.3.2 Flujo

Figura 20.

Análisis de Flujo



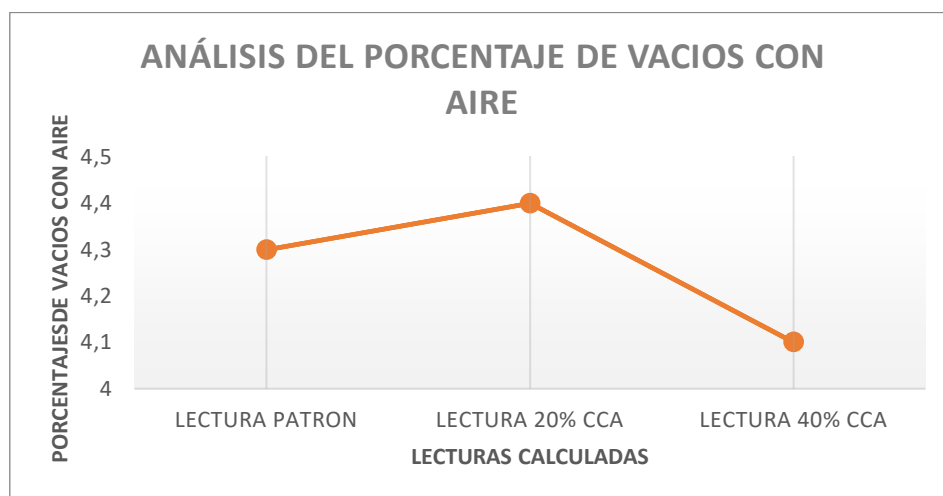
Nota: Fuente: Autores

Al realizar un análisis del parámetro de flujo, es evidente que los distintos porcentajes de sustitución de ceniza de cascarilla de arroz continúan manifestando un incremento significativo en comparación con la mezcla patrón. Esta observación se sustenta mediante el análisis gráfico, el cual muestra que las tres muestras se ajustan a los criterios establecidos por la MTOP; sin embargo, se puede apreciar que la mezcla patrón tiende a acercarse a la media ideal con un valor de 4.15 mm, mientras que al utilizar un porcentaje de sustitución del 20% de CCA, este valor se eleva a 4.42 mm, y con un porcentaje de sustitución del 40%, se registra un valor de flujo de 4.33 mm.

4.3.3 Porcentaje de vacíos con aire

Figura 21.

Análisis de porcentaje de vacíos con aire



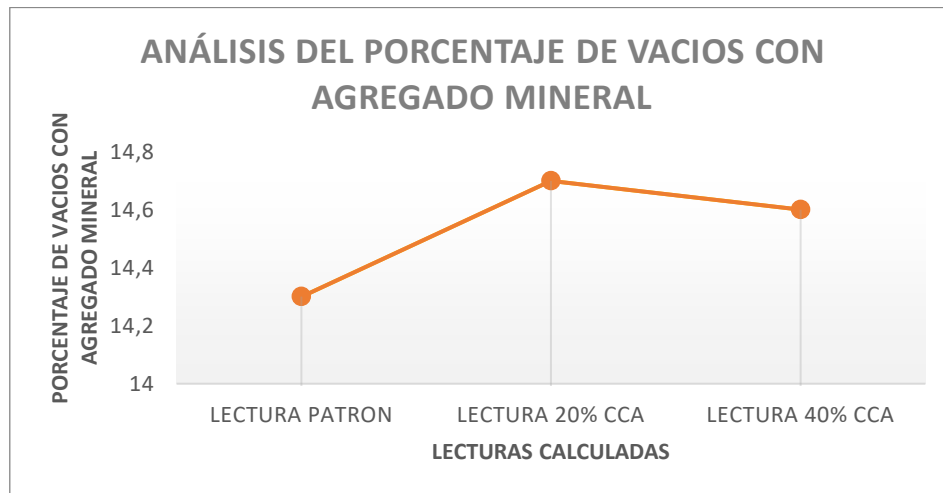
Nota: Fuente: Autores

Al efectuar una evaluación del porcentaje de vacíos con aire, se constata una variación tanto en la mezcla patrón como en las muestras con diferentes porcentajes de Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA). La lectura de la mezcla patrón exhibe un valor de 4.3 %, mientras que al emplear un 20% de CCA, este valor aumenta ligeramente a 4.4 %. En contraste, el uso de un 40% de CCA presenta una tendencia hacia la media con un valor del 4%, y la lectura obtenida se sitúa en 4.1%

4.3.4 Porcentaje de vacíos con agregado mineral

Figura 22.

Análisis de porcentaje de vacíos con agregado mineral



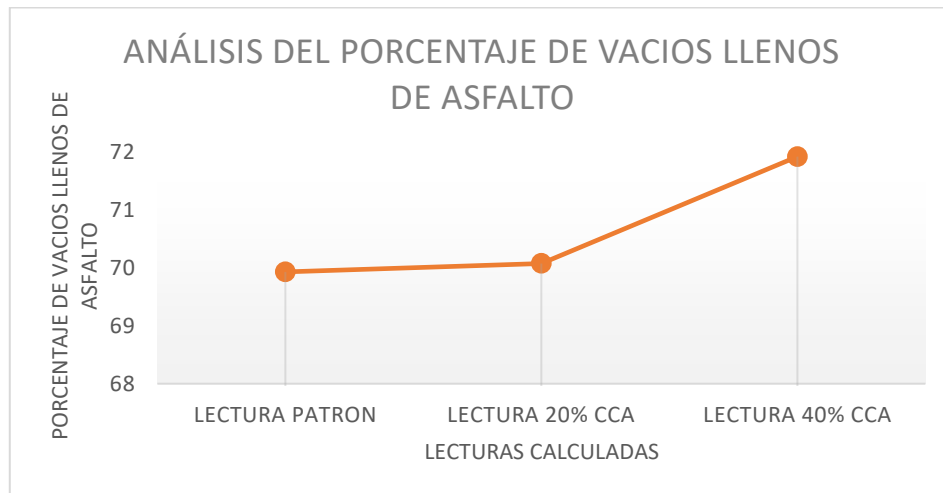
Nota: Fuente: Autores

El análisis del porcentaje de vacíos con agregado mineral revela una variación no lineal en función de los distintos porcentajes de Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA) utilizados. La mezcla patrón presenta un valor de 14,3%, mientras que la muestra con un 20% de CCA exhibe un incremento en los vacíos, marcando un 14,7%. Por otro lado, al emplear un 40% de CCA, se observa una disminución mínima, situándose en 14,6%. Cabe destacar que los tres valores de lectura cumplen con el parámetro establecido por la MTOP, el cual indica que el porcentaje mínimo de vacíos con agregado mineral debe ser del 13%.

4.3.5 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto

Figura 23.

Análisis de porcentaje de vacíos llenos de asfalto



Nota: Fuente: Autores

El análisis del porcentaje de vacíos llenos de asfalto, cuyo rango óptimo debe situarse entre el 65% y el 75%, muestra que las tres mediciones se encuentran dentro de estos parámetros establecidos. Los valores obtenidos presentan ligeras variaciones, pero en general, muestran un incremento progresivo. La muestra patrón exhibe un valor de 69.93%, mientras que al utilizar un 20% de sustitución parcial con Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA), se obtiene un valor de 70.07%. Asimismo, el uso del 40% de CCA resulta en una lectura de 71.92%.

CONCLUSIONES

- En conclusión, tras llevar a cabo la fabricación de briquetas y evaluar diversas variaciones de porcentajes (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%) de cemento asfáltico AC-20 o betún, siguiendo los parámetros establecidos por el MTOP, como flujo, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos con agregado y porcentaje de vacíos llenos de asfalto, se determinó que la muestra patrón más adecuada es aquella que contiene un 6% de cemento asfáltico AC-20 o betún. Esta muestra será utilizada para realizar comparaciones con los porcentajes de sustitución de CCA.
- En el diseño de mezclas asfálticas modificadas, se evaluaron diferentes porcentajes de sustitución de CCA (Ceniza de Cascarilla de arroz) como remplazo del llenante mineral filler. Los porcentajes evaluados fueron 20%, 40%, 60%, 80% y 100%, utilizando el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6%. Al realizar los ensayos correspondientes y compararlos con los parámetros establecidos por el MTOP, se determinó que dos porcentajes cumplen con los criterios de flujo, estabilidad, porcentaje de vacíos con aire, porcentaje de vacíos con agregado y porcentaje de vacíos llenos de asfalto. Los porcentajes que se encuentran dentro de los límites establecidos son el 20% y el 40% de sustitución del llenante mineral filler por CCA. Estos resultados indican que estos porcentajes son adecuados para lograr las propiedades deseadas en las mezclas asfálticas modificadas con CCA.
- Finalmente, los resultados obtenidos en este proyecto de titulación indican que el uso de CCA (Ceniza de Cascarilla de arroz) como sustituto parcial del llenante mineral filler en mezclas asfálticas modificadas es beneficioso. Se determinó que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico AC-20 es del 6%, y se encontró que la sustitución efectiva del llenante mineral filler por CCA es del 20% y 40%.

El uso de la CCA en concentraciones del 20% y 40% como llenante mineral, combinada con áridos de origen ígneo, conlleva diversas ventajas. En particular, se observa un aumento en la estabilidad de las mezclas cuando se sustituye con un 40%, lo que se refleja en una estabilidad de 10.46 kN en comparación con la lectura de la muestra patrón de 10.04 kN. Además, estas mezclas mantienen un flujo dentro de los parámetros establecidos por el MTOP.

También se ha notado una reducción en el parámetro de vacíos con aire al utilizar un 40% de CCA, aproximándose al valor medio con un 4%, mientras que la lectura obtenida se sitúa en 4.1%. Es relevante mencionar que se han cumplido satisfactoriamente otros parámetros requeridos por el MTOP, como el porcentaje de vacíos con agregado mineral y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto. Esto resalta la efectividad de la sustitución parcial de CCA por el llenante mineral filler en combinación con áridos de origen ígneo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar investigaciones futuras para evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas utilizando materiales de origen sedimentario. En general, este estudio demuestra el potencial y los beneficios de la sustitución parcial con CCA en la industria de las mezclas asfálticas.

Se sugiere, realizar este tipo de investigación, con un intervalo más pequeño de porcentajes; tanto para la designación de la mezcla asfáltica patrón; así como también para sustituir la ceniza de cascarilla de arroz.

Es altamente recomendable llevar a cabo una cuidadosa selección de la ceniza de cascarilla, dado que su procedencia puede implicar potenciales contaminantes. Por lo tanto, resulta de suma importancia tamizar minuciosamente este material para obtener la granulometría necesaria que garantice su pureza.

BIBLIOGRAFÍA

- AIMSA áridos silíceos. (s. f.). *Áridos calizos en Montorio*. Recuperado 22 de mayo de 2023, de <https://www.aimsa.es/aridos-calizos>
- Alvacora Vidal, F. X., & Rosero Chavez, L. O. (2022). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ADICIONANDO NEUMÁTICOS RECICLADOS, CON MATERIALES PÉTREOS PROVENIENTES DE LAS CUENCAS DEL RÍO PAUTE Y JUBONES*. Universidad Católica de Cuenca.
- American Society for Testing and Materials. (2010, diciembre 31). *Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction*. <https://www.astm.org/d3381-09.html>
- Asfalto en Ecuador* / OEC. (2021). OEC - The Observatory of Economic Complexity. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/asphalt/reporter/ecu>
- Bastidas Gutiérrez, P. X., & Ortiz Vizúete, G. G. (2016). *COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EN MEZCLAS DE HORMIGÓN ESTÁNDAR* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6350/1/T-UC-0011-206.pdf>
- Chamba Gonzaga, F. G., & Bena Vides Suárez, J. F. (2019). *DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5225/1/UPSE-TIC-2019-0020.pdf>
- Construmatica. (2012, enero 3). *Clasificación de las Mezclas Asfálticas—Construmatica* [Blog]. Construmática. https://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas

- De La Pared Condo, D. B. (2011). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ PARA EMPLEARLO EN PROYECTOS DE VIVIENDA DE BAJO COSTO* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1191>
- Forero Triana, M. A., & Hernández Franco, J. A. (2020). *DISEÑO MARSHALL Y VERIFICACIÓN DE ADHERENCIA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-25 CON REEMPLAZO PARCIAL DE MATERIAL GRANULAR POR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ*. [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/187ab408-8591-43f5-b54c-fb2921ca6da9/content>
- Ingeoexpert. (2020, octubre 29). Rocas Ígneas: Tipos y características. *Ingeoexpert*. <https://ingeoexpert.com/2020/10/29/rocas-igneas-tipos-caracteristicas/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010a). *ÁRIDOS. DETERMINACION DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/856.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010b). *ÁRIDOS. DETERMINACION DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/857.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *ÁRIDOS, ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2000). *Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la explotación de bancos de materiales y construcción de cortes y terraplenes*. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt145.pdf>

- Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M. G., Sánchez Blanco, V., & Del Val, M. Á. (2004). *Ingeniería de Carreteras* (Cancepción Fernández Madrid, Vol. 2).
https://www.academia.edu/43380215/Ingenier%C3%ADa_de_Carreteras_Vol_II_Carlos_Kraemer_Jos%C3%A9_Mar%C3%ADa_Pardillo_Sandro_Rocci_Manuel_G_Romana_V%C3%ADctor_S%C3%A1nchez_Blanco_Miguel_%C3%81ngel_del_Val
- Lizcano Garzón, O. F., & Ramos Félix, D. A. (2020). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON LLENANTE MINERAL DE CENIZA DE LA CASCARILLA RESULTANTE DE LA MOLIENDA DEL ARROZ* [Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/580ede67-4fde-47bc-a445-934db827e872/content>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES.*
- Parra Bechara, M. C., & Gallo Ortiz, J. C. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ* [Universidad de Ibagué].
<https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/78dafa78-6b23-441a-928b-f96bcbcf9734/content>
- Petroandes. (s. f.). *Productos*. petroandes. Recuperado 22 de mayo de 2023, de <https://petroandes.com.ec/index.php/classes>
- Producción de Arroz por País | Producción Agrícola Mundial 2022/2023*. (2022, diciembre). Produccion Agrícola Mundial.com.
<http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/arroz.aspx>

- Puente Ganz, J. (2020). *ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS*. Universidad Peruana Los Andes.
- Sánchez Córdova, H. M. (2021). *Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura*. Universidad de Piura.
- Sargin, Ş., Saltan, M., Morova, N., Serin, S., & Terzi, S. (2013). Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 390-397.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.029>
- Sethunarayanan, R., Chockalingam, S., & Ramanathan, R. (1989). Natural Fiber Reinforced Concrete. En *Transportation Research Record* (pp. 57-60).
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1226/1226-008.pdf>
- Shafabakhsh, G., Divandari, H., & Reza Sajadi, S. (2018). Evaluation of Optimum Content of Rice Husk Ash to Improve the Hot Asphalt Concrete Performance. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.20), 338.
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.20.26131>
- Sunarjono, S., Hidayati, N., Aji, M. W. S., Cindikia, W. F., & Magfirona, A. (2022). The Improvement of Asphalt Mixture Durability Using Portland Cement Filler and Rice Husk Ash. *Civil Engineering and Architecture*, 11(2), 1091-1098.
<https://doi.org/10.13189/cea.2023.110240>
- Taku, J. K., Amartey, Y. D., & Kassir, T. (2016). Comparative Elemental Analysis of Rice Husk Ash Calcined at Different Temperatures Using X-ray Fluorescence (XRF) Technique. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 4(1), 28-31.
<https://doi.org/10.12691/ajcea-4-1-4>

Toro Oyarzo, E. A. (2013). *PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE ARIDOS USADOS EN HORMIGON* [Universidad Austral de Chile].

<https://es.scribd.com/document/409728296/aridos-pdf>

Wikivia. (2011, julio 15). *Tipos de áridos*.

http://www.wikivia.org/wikivia/index.php?title=Tipos_de_%C3%A1ridos

GLOSARIO

CCA: Ceniza de Cascarilla de Arroz

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Llenante mineral "Filler": Pasante el tamiz número 200; resultado de tamizar el material 3/16

Bulk: La gravedad específica bulk representa la densidad del material teniendo en cuenta tanto el volumen de las partículas sólidas como los espacios vacíos entre ellas.

ASTM: Son las siglas de "American Society for Testing and Materials", que en español se traduce como "Sociedad Americana para Pruebas y Materiales".

INEN: Son las siglas del "Instituto Ecuatoriano de Normalización"

MAGAP: Son las siglas del "Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador"

VAM: Se refiere a los vacíos en el Agregado Mineral.

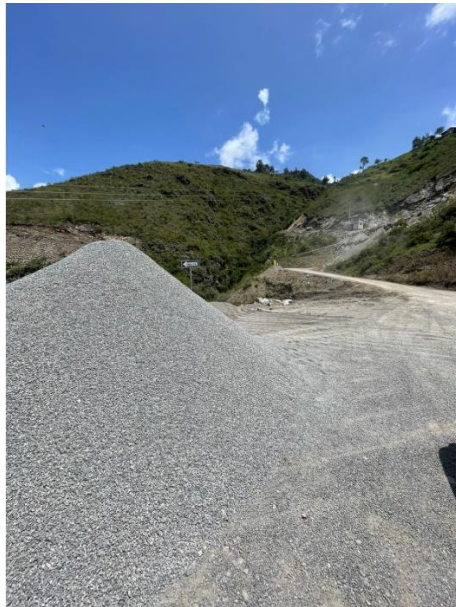
Briquetas: Las briquetas son bloques compactos y sólidos que se obtienen al comprimir y compactar materiales secos en forma de polvo, partículas finas o residuos agrícolas o industriales.

Método Rice: Peso específico máximo medido.

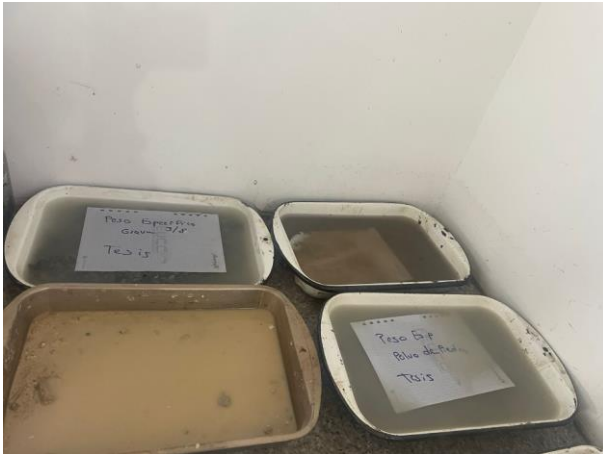
VFA: Vacíos llenos de asfalto.

ANEXOS

Recolección del Material



Caracterización del Material



Elaboración de Probetas





Ensayo de las probetas





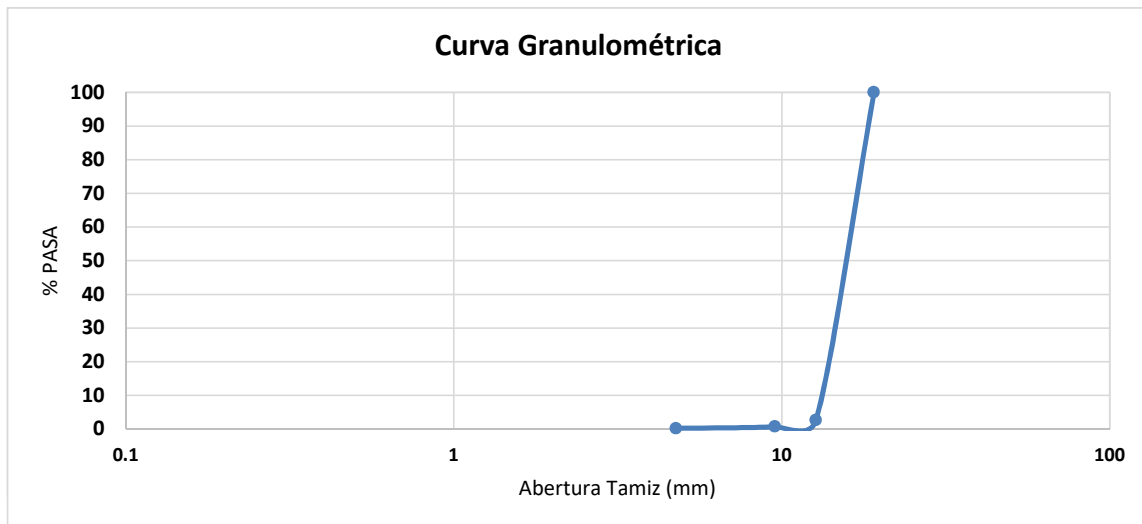


GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE 3/4

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Material de 3/4 de la Planta de agregados y asfalto del Azuay la "Virginea"
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2						
2 1/2"	63.5						
2"	50.8						
1 1/2"	38.1						
1"	25.4						
3/4"	19.1	0	0	0.00	100		
1/2"	12.7	4858	4858	97.37	3		
3/8"	9.52	95	4953	99.28	1		
Nº4	4.76	25	4978	99.78	0		
Fondo		11	4989	100.00	0		

Peso antes del ensayo (gramos) =	5000	Peso después del ensayo (gramos) =	4989
----------------------------------	------	------------------------------------	------



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO**

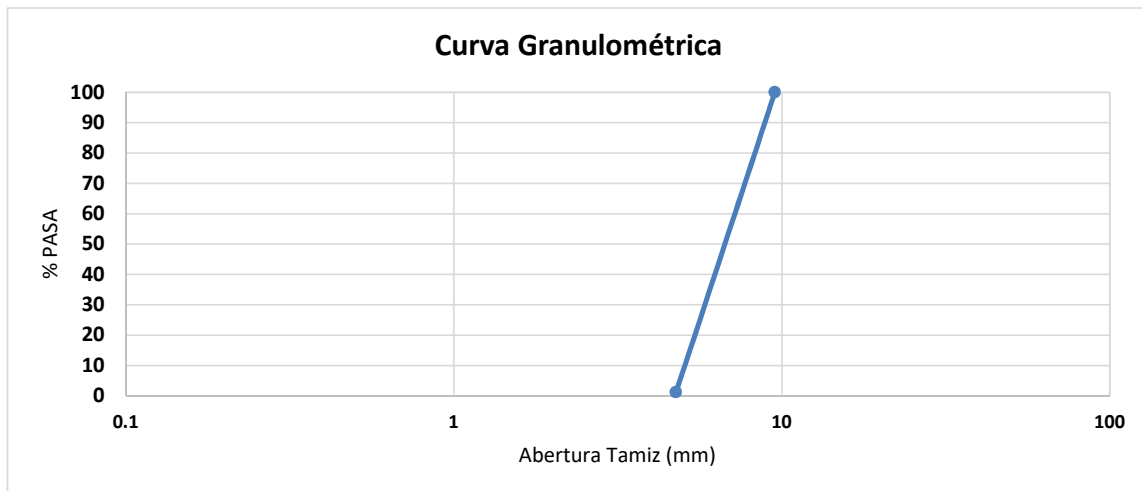
LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE 3/8

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Material de 3/8 de la Planta de agregados y asfalto del Azuay la "Virginea"
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2						
2 1/2"	63.5						
2"	50.8						
1 1/2"	38.1						
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52	0	0	0.00	100		
Nº4	4.76	985	985	98.80	1		
Fondo		12	997	100.00	0		

Peso antes del ensayo (gramos) =	1000	Peso después del ensayo (gramos) =	997
----------------------------------	------	------------------------------------	-----



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

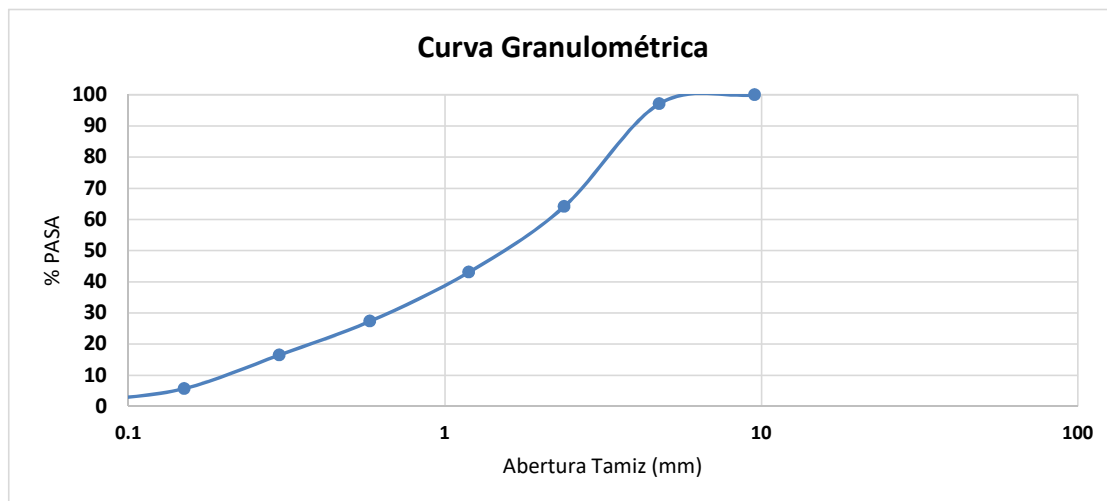
LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DEL POLVO DE PIEDRA

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Polvo de Piedra de la Planta de agregados y asfalto del Azuay la "Virginea"
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULA	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52	0	0	0	100		
Nº4	4.76	14.34	14.34	2.881601157	97.1184		
Nº8	2.38	164.3	178.64	35.8974359	64.1026		
Nº16	1.19	104.8	283.44	56.95683627	43.0432		
Nº30	0.58	78.24	361.68	72.67904509	27.321		
Nº50	0.3	53.85	415.53	83.50012057	16.4999		
Nº100	0.15	53.79	469.32	94.30913914	5.69086		
Nº200	0.075	20.39	489.71	98.40647858	1.59352		
FONDO		7.93	497.64	100	0		
TOTAL		497.64					

Peso antes del ensayo (gramos) =	500	Peso después del ensayo (gramos) =	497.64
---	-----	---	--------



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

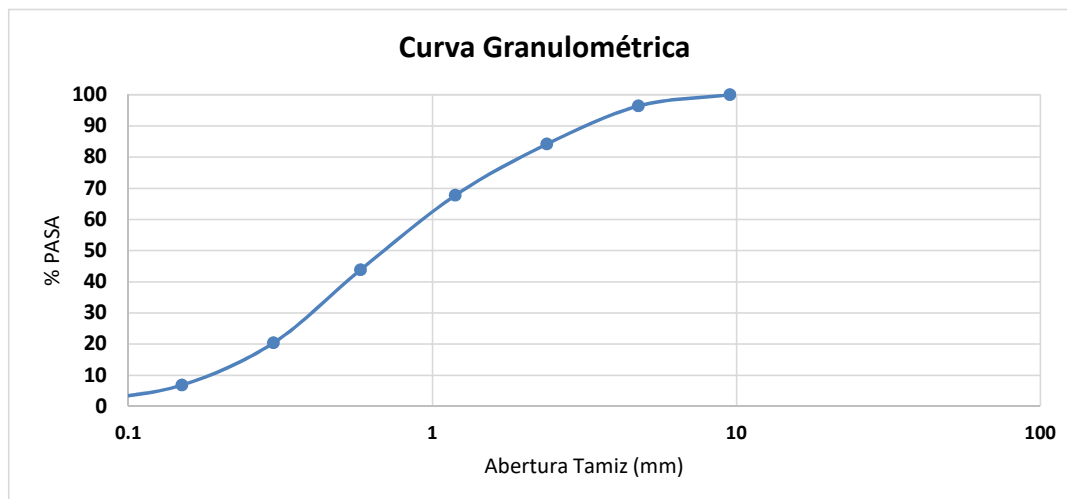
LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Material tomado de la Mina ROKAAZUL
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULA	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52	0	0	0	100		
Nº4	4.76	18	18	3.604613906	96.3954		
Nº8	2.38	61	79	15.82024992	84.1798		
Nº16	1.19	82	161	32.24126882	67.7587		
Nº30	0.58	119.5	280.5	56.17190003	43.8281		
Nº50	0.3	117.16	397.66	79.63393143	20.3661		
Nº100	0.15	67.59	465.25	93.16925665	6.83074		
Nº200	0.075	25.43	490.68	98.26177507	1.73822		
FONDO		8.68	499.36	100	0		
TOTAL		499.36					

Peso antes del ensayo (gramos) =	500	Peso después del ensayo (gramos) =	499.36
---	-----	---	--------



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARÍO
GONZÁLEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DEL LLENANTE MIERAL FILLER

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Material de Filler de la Planta de agregados y asfalto del Azuay la "Virginea"
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULA	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52						
Nº4	4.76				100		
Nº8	2.38				100		
Nº16	1.19				100		
Nº30	0.58				100		
Nº50	0.3				100		
Nº100	0.15				100		
Nº200	0.075	0	0	0	100		
FONDO		500	500	100	0		
TOTAL		500					

Peso antes del ensayo (gramos) =	500	Peso después del ensayo (gramos) =	500
----------------------------------	-----	------------------------------------	-----



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

PROYECTO:	"APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Ceniza de cascarilla de arroz
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULA	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52						
Nº4	4.76				100		
Nº8	2.38				100		
Nº16	1.19				100		
Nº30	0.58				100		
Nº50	0.3				100		
Nº100	0.15				100		
Nº200	0.075	0	0	0	100		
FONDO		500	500	100	0		
TOTAL		500					

Peso antes del ensayo (gramos) =	500	Peso después del ensayo (gramos) =	500
---	-----	---	-----



firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

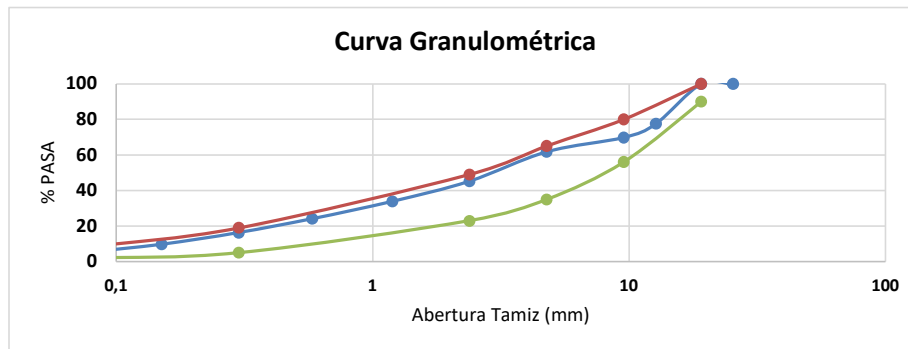
LABORATORISTA

GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA DE MATERIAL 38.27% AG. GRUESO 61.73% AG. FINO

PROYECTO:	"APLICACION DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUCION PARCIAL DEL AGREGADO FINO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ÁRIDOS DE ORIGEN ÍGNEO"
MUESTRA:	Mezcla de material 38.28% Ag. Grueso y 61.72% Ag. Fino
SOLICITADO POR :	Ing. Francisco Darquea (Tutor de Proyecto de Titulación)
FECHA:	18 de Abril de 2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULAD	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25,4	0	0	0	100		
3/4"	19,1	0	0	0	100	100	90
1/2"	12,7	1122,5	1122,5	22,49710895	77,50289105		
3/8"	9,52	384	1506,5	30,19322461	69,80677539	80	56
Nº4	4,76	403	1909,5	38,27013767	61,72986233	65	35
Nº8	2,38	823	2732,5	54,76467723	45,23532277	49	23
Nº16	1,19	565	3297,5	66,08838909	33,91161091		
Nº30	0,58	485	3782,5	75,80874351	24,19125649		
Nº50	0,3	391	4173,5	83,64515295	16,35484705	19	5
Nº100	0,15	325	4498,5	90,15879251	9,841207488		
Nº200	0,075	235,53	4734,03	94,87927721	5,120722794	8	2
FONDO		255,5	4989,53	100	0		
TOTAL		4989,53					

Peso antes del ensayo (gramos) =	5000	Peso después del ensayo (gramos) =	4989,53
---	------	---	---------



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS Y FINOS)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL MATERIAL DE 3/4: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

A=	948,50	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3745,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	941,50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2,884$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2,905$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2,947$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = 0,743$$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS Y FINOS)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL MATERIAL DE 3/8: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

A=	468,00	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3426,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	460,00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2,788$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2,836$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2,930$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = 1,739$$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio

 Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS Y FINOS)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL MATERIAL DE POLVO DE PIEDRA: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

A=	300,00	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3306,00	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	291,50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2,481$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2,553$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2,674$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = 2,916$$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS Y FINOS)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL MATERIAL DE ARENA : MÉTODO GRAVIMÉTRICO

A=	300,00	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3295,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123,50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	289,50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2,262$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2,344$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2,464$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = 3,627$$

OBSERVACIONES: Muestra depositado en el Laboratorio



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
GONZALEZ MALDONADO**

LABORATORISTA

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotras, María Emilia Ortiz Abril portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0105768972 y Jennifer Samantha Quito Peralta portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0106328255. En calidad de autoras y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz como sustitución parcial del agregado fino en la producción de mezclas asfálticas y áridos de origen ígneo” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de septiembre de 2023

F: 

María Emilia Ortiz Abril

0105768972

F: 

Jennifer Samantha Quito Peralta

0106328255