



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION**

**CARRERA INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO ARENA  
VOLCÁNICA, CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, HORMIGÓN  
ASFALTICO RECICLADO”**

**TUTOR**

**PHD .MSC. JAVIER ARECHE GARCÍA**

**AUTORES:**

**WASHINGTON ESTEBAN PACHECO BAJAÑA**

**MARIO LUIS CHOEZ MEREJILDO**

**GUAYAQUIL**

**2022**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO ARENA VOLCÁNICA, CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, HORMIGÓN ASFALTICO RECICLADO	
<b>AUTOR/ES:</b> Washington Esteban Pacheco Bajaña / Mario Luis Choez Merejildo	<b>REVISORES O TUTORES:</b> <b>PHD .MSC. JAVIER ARECHE GARCÍA</b>
<b>INSTITUCIÓN:</b> <b>Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil</b>	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero Civil
<b>FACULTAD:</b> Facultad de Ingeniería, Industria y construcción	<b>CARRERA:</b> Ingeniero Civil
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2022	<b>N. DE PAGS:</b> 142
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Asfalto, diseño, Arena, Estructura, cemento	

**RESUMEN:**

Todos los residuos o material desechados por lo general son depositados en los botaderos de basura, incrementando la contaminación del medio ambiente, y para esto no se ha dado una solución adecuado de estos desechos, por este motivo procedemos a realizar un diseño asfáltico utilizando materiales innovadores como es la arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y el hormigón asfáltico triturado.

Grandes cantidades de los materiales de hormigón reciclado son utilizados como material de mejoramiento, en este tema investigativo este material será parte del agregado grueso para el diseño asfáltico propuesto en el tema de la tesis, la ceniza de bagazo se la utiliza en el área de la construcción principalmente en las carreteras de hormigón como puzolana para evitar fisuras superficiales producidas por el mal curado de estos elementos en su construcción, con esto daremos la creación de nuevos procesos constructivos aprovechando los recursos naturales y residuos reciclados.

Ante este escenario el plan de acción es el reciclaje, creando oportunidades, partiendo con la idea de utilizarlo en otra área como es el diseño asfáltico, y combinación de la arena volcánica con el bagazo de la caña de azúcar.

La metodología de investigación del proyecto es cuantitativa, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, datos (ensayos respectivos para el diseño de la mezcla asfáltica) y magnitudes numéricas entre las cuales podemos determinar la estabilidad y el flujo y sus proporciones adecuadas para considerarlo como parte del diseño asfáltico es de tipo experimental científica.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>

<p><b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b></p> <p>Pacheco Bajaña Washington</p> <p>Chóez Merejildo Mario</p>	<p><b>Teléfono:</b></p> <p>+593 983386161</p> <p>+593958981151</p>	<p><b>E-mail:</b></p> <p><a href="mailto:stbanp89@gmail.com">stbanp89@gmail.com</a></p> <p>Luisma_90@outlook.com</p>
<p><b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b></p>	<p>MSC. Ing. Alex Salvatierra Espinoza Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.</p> <p>Teléfono (04) 259 6500 Ext. 241</p> <p><b>E-mail:</b> asalvatierrae@ulvr.edu.ec</p>	

# CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

## TESIS CHOES /PACHECO - ARECHE

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>4%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>

Excluir citas    Activo    Excluir coincidencias < 2%  
Excluir bibliografía    Activo



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados WASHINGTON ESTEBAN PACHECO BAJAÑA y MARIO LUIS CHOEZ MEREJILDO, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO ARENA VOLCÁNICA, CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, HORMIGÓN ASFALTICO RECICLADO, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

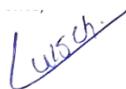
Firma:



WASHINGTON ESTEBAN PACHECO BAJAÑA

C.I. 0926739533

Firma:



MARIO LUIS CHOEZ MEREJILDO

C.I. 2400120206

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO ARENA VOLCÁNICA, CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, HORMIGÓN ASFALTICO RECICLADO, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO ARENA VOLCÁNICA, CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, HORMIGÓN ASFALTICO RECICLADO, presentado por los estudiantes WASHINGTON ESTEBAN PACHECO BAJAÑA y MARIO LUIS CHOEZ MEREJILDO como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

Ing. JAVIER NICOLAS ARECHE GARCÍA

C.C. 0962174165

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por darme vida, salud y la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera. Doy gracias a mis padres por haberme brindado su apoyo durante todo mi proceso estudiantil, por la fé y la esperanza de culminar mi carrera universitaria. De igual forma agradezco a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, por haberme permitido realizar mi carrera universitaria en tan noble Institución. A mi tutor el PHD. MSC. JAVIER ARECHE GARCÍA por ser mi guía, y por compartir sus conocimientos y permitirme llegar a esta meta.

Washington Esteban Pacheco Bajaña

## DEDICATORIA

Dedico este título a mi familia, de manera muy especial a mi padre el Sr WASHINGTON GUALISTEBAN PACHECO GONZALEZ por ser el mejor del mundo, a mi mamá la Sra. JENNY PATRICIA BAJAÑA MORALES por ser mi fuente de inspiración y superación. Indiscutiblemente este logro es para ellos, porque siempre en los momentos difíciles mis padres estaban dentro de mis pensamientos y eso me dio las fuerzas necesarias para superar todo obstáculo y permitirme obtener mi título.

Quiero dedicar este título a mis hijas: Amy, Ashley, Mia y a mi hijo Kervin, porque quiero ser un buen ejemplo para ellos.

A mi gran amigo y compañero Ing. Edison Carabedo, lamentando tu pronta partida.

Washington Esteban Pacheco Bajaña

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien me ha otorgado su bendición a lo largo de mi vida, y de la misma manera a mi familia, quienes han sido un apoyo fundamental para la culminación de mis estudios.

Agradezco a todas las autoridades que me abrieron las puertas de la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL y me dieron la oportunidad de instruirme en sus aulas, así mismo le expreso mi gratitud a los docentes que me formaron en este proceso estudiantil e investigativo, gracias a su enseñanza hicieron que pueda crecer día a día como un excelente profesional, a mi tutor el PHD. MSC. JAVIER ARECHE GARCÍA que, con paciencia y dedicación fue mi guía en la culminación de este proyecto.

Mario Luis Chóez Merejildo

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado con mucho amor a mis padres, pues, el esfuerzo y las metas alcanzadas reflejan la dedicación de ellos hacia su hijo. Al Sr. LUIS ALBERTO CHÓEZ LOOR y la Sra. ELVIA YOLANDO MEREJILDO SILVESTRE quienes son mi fuente de inspiración el pilar fundamental de mi vida.

Está dedicado también a mi hermano mayor LUIS IVÁN CHÓEZ MEREJILDO que a través de sus consejos, enseñanzas, y paciencia me ayudo a concluir esta meta, siempre apoyándome incondicionalmente.

Mario Luis Chóez Merejildo

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Tema.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Objetivo general.....	5
1.5. Objetivos específicos.....	5
1.6. Hipótesis.....	6
1.7. Línea de investigación Institución/Facultad.....	6
CAPITULO II.....	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1.1. ANTECEDENTES.....	7
2.2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.2.1. INTRODUCCIÓN.....	25
2.2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.2.3. Obtención de propiedades mecánicas.....	35
2.2.4. LA INFLUENCIA DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ...	53
2.2.5. PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS REICLADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	70
2.3. MARCO LEGAL.....	91
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	96
3.1. Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto).....	96
3.2. Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional) ....	97
3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	98
3.3.1. Técnica.....	98
3.3.2. Instrumento.....	98
3.4. Población y muestra.....	99
3.4.1. Población.....	99
3.4.2. Muestra.....	99
3.5. Presentación y análisis de resultados.....	100
Bibliografía.....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1;</b> Línea de Investigación Institucional/Facultad .....	6
<b>Tabla 2:</b> Cantidad de briquetas .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Análisis de resultados de la mezcla asfáltica.....	28
<b>Figura 2:</b> Porcentajes granulométrico .....	29
<b>Figura 3:</b> Curva granulométrica.....	29
<b>Figura 4:</b> Gravedad específica .....	30
<b>Figura 5:</b> Gravedad específica .....	30
<b>Figura 6:</b> Densidad y vacíos.....	31
<b>Figura 7:</b> Densidad bulk vs % de asfalto .....	32
<b>Figura 8:</b> % de vacíos vs % de asfalto .....	32
<b>Figura 9:</b> % de desgaste vs % de asfalto.....	33
<b>Figura 10:</b> Resumen de resultados .....	33
<b>Figura 11:</b> Parámetros volumétricos óptimos .....	34
<b>Figura 12:</b> Vetas de cenizas volcánicas .....	38
<b>Figura 13:</b> Valores de resistencia a compresión de ceniza volcánica.....	39
<b>Figura 14:</b> Valores del ángulo de fricción y cohesión .....	40
<b>Figura 15:</b> Variedades de hondas.....	41
<b>Figura 16:</b> Comportamiento de ondas sísmicas .....	42
<b>Figura 17:</b> Varias fórmulas a utilizar .....	43
<b>Figura 18:</b> Valores de velocidad de honda.....	44
<b>Figura 19:</b> Correlación entre la velocidad de honda vs ángulo de fricción .....	47
<b>Figura 20:</b> Correlación entre Vp/Vs vs ángulo de fricción.....	47
<b>Figura 21:</b> Correlación entre en el ángulo de fricción vs ángulo de velocidad .....	48
<b>Figura 22:</b> Correlación entre la velocidad de honda vs rotura a compresión .....	49
<b>Figura 23:</b> Valores de porcentajes de las muestras .....	56
<b>Figura 24:</b> Resistencia a la compresión .....	56
<b>Figura 25:</b> Resistencia a la compresión .....	57
<b>Figura 26:</b> Resistencia a la compresión .....	58
<b>Figura 27:</b> Resistencia a la tracción .....	59
<b>Figura 28:</b> Ceniza de bagazo.....	61
<b>Figura 29:</b> Propiedades químicas de la ceniza de bagazo .....	62
<b>Figura 30:</b> Resistencia a la compresión .....	63
<b>Figura 31:</b> Resistencia a la compresión de mortero .....	64
<b>Figura 32:</b> Actividad de la puzolana .....	65

<b>Figura 33:</b> Resultado de los ensayos.....	66
<b>Figura 34:</b> Modulo de rotura y resistencia a la compresión.....	67
<b>Figura 35:</b> Residuos de losa y hormigón asfaltico.....	73
<b>Figura 36:</b> Residuos de losa y hormigón asfaltico.....	74
<b>Figura 37:</b> Curva granulométrica.....	75
<b>Figura 38:</b> Áridos procedencia.....	76
<b>Figura 39:</b> Curva granulométrica.....	76
<b>Figura 40:</b> Residuos de los ensayos .....	77
<b>Figura 41:</b> Curva granulométrica.....	77
<b>Figura 42:</b> Residuos de los ensayos .....	78
<b>Figura 43:</b> Curva granulométrica.....	78
<b>Figura 44:</b> Resultados de los ensayos .....	79
<b>Figura 45:</b> Curva granulométrica.....	79
<b>Figura 46:</b> Resultados de los ensayos .....	80
<b>Figura 47:</b> Curva granulométrica.....	80
<b>Figura 48:</b> Resultados de los ensayos .....	81
<b>Figura 49:</b> Curva granulométrica.....	81
<b>Figura 50:</b> Resultados de los ensayos .....	82
<b>Figura 51:</b> Asfalto reciclado .....	85
<b>Figura 52:</b> Asfalto Reciclado en planta.....	86
<b>Figura 53:</b> Fresadora de sfalto .....	87
<b>Figura 61:</b> Ensayo de clasificación.....	101
<b>Figura 62:</b> Ensayo de peso unitario.....	102
<b>Figura 63:</b> Ensayo de clasificación.....	103
<b>Figura 64:</b> <i>Ensayo de abrasión</i> .....	104
<b>Figura 65:</b> : Ensayo granulométrico.....	105
<b>Figura 66:</b> Ensayo de peso específico.....	106
<b>Figura 67:</b> Ensayo de peso unitario.....	107
<b>Figura 68:</b> Ensayo de estabilidad y flujo .....	122
<b>Figura 69:</b> Ensayo RICE .....	123
<b>Figura 70:</b> Ensayo de diagrama de diseño .....	124
<b>Figura 71:</b> Ensayo granulométrico.....	126
<b>Figura 72:</b> Ensayo de estabilidad y flujo .....	127
<b>Figura 73:</b> Ensayo RICE .....	128
<b>Figura 74:</b> Ensayo de diagrama de diseño .....	129
<b>Figura 75:</b> Ensayo granulométrico.....	131
<b>Figura 76:</b> Ensayo de estabilidad y flujo .....	132
<b>Figura 77:</b> Ensayo RICE .....	133
<b>Figura 78:</b> Ensayo de diagrama de diseño .....	134
<b>Figura 79:</b> Cuadro de resumen.....	135
<b>Figura 80:</b> Cuadro de valores requeridos para el diseño asfaltico .....	135

## INTRODUCCION

Los recursos naturales son utilizados por el ser humano para sus beneficios esto se puede apreciar a lo largo de la historia dentro del ámbito de la construcción, por esta razón se ha incrementado el desarrollo en todo el mundo y esto conlleva el incremento en la degradación del medio ambiente de manera inconsciente, siendo el resultado la generación de residuos sólidos.

Todos los residuos o material desechados por lo general son depositados en los botaderos de basura, incrementando la contaminación del medio ambiente, y para esto no se ha dado una solución adecuado de estos desechos, por este motivo procedemos a realizar un diseño asfáltico utilizando materiales innovadores como es la arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y el hormigón asfáltico triturado.

Grandes cantidades de los materiales de hormigón reciclado son unos utilizado como material de mejoramiento o como base asfáltica, en este tema investigativa este material será parte del agregado grueso para el diseño asfáltico propuesto en el tema de la tesis, la ceniza de bagazo se la utiliza en el área de la construcción principalmente en las carreteras de hormigón como puzolana para evitar fisuras superficiales producidas por el mal curado de estos elementos en su construcción, con esto daremos la creación de nuevos procesos constructivos aprovechando los recursos naturales y residuos reciclados.

Ante este escenario el plan de acción es el reciclaje, creando oportunidades innovadoras, partiendo con la idea de utilizarlo en otra área como es el diseño asfáltico, así también la combinación de la arena volcánica con el bagazo de la caña de azúcar,

La metodología de investigación del proyecto su enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, datos (ensayos respectivos para el diseño de la mezcla asfáltica) y magnitudes numéricas entre las cuales podemos determinar la estabilidad y el flujo y sus proporciones adecuadas para considerarlo como parte del diseño asfálticoes de tipo experimental científica.

En el Capítulo I se menciona la formulación del problema. También el planteamiento del objetivo general y los objetivos específicos, la hipótesis y línea de investigación institucional. Posteriormente entrando en el Capítulo II se refiere a dos

puntos específicos: marco teórico y marco legal donde se presentan las normativas tomadas en cuenta para la ejecución de este procedimiento.

En el Capítulo III se menciona la metodología de la investigación, en este caso es de tipo cuantitativo, por la recopilación de datos y la utilización del hormigón asfáltico reciclado, la arena volcánica y la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, reemplazando estas materias por los tradicionales en la elaboración del diseño asfáltico. se mencionan los resultados obtenidos por los ensayos de abrasión, granulometría, peso específico, unitario, ensayo Marshall, ensayo RICE y las curvas para determinar el porcentaje de asfalto óptimo que tendrá el diseño de esta investigación con estos materiales y a su vez cumplan con las especificaciones del ministerio de transporte y obras públicas para considerarlo como parte de los agregados para el diseño asfáltico propuesto.

# CAPÍTULO I

## 1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Tema

Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado

### 1.2. Planteamiento del problema

La mezcla asfáltica es un elemento usado en los pavimentos flexibles como carpeta asfáltica normalmente de espesor de 2 a 4 pulgadas dependiendo de la clase de carretera que se emplee, esta mezcla está compuesta por un ligante, áridos gruesos y finos

La resistencia de la mezcla asfáltica depende de su diseño, preparación y de los agregados en nuestro proyecto de titulación planteamos el uso de ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado, arena volcánica

La caña de azúcar es uno de los cultivos de importancia mundial tanto para la alimentación como para la industria. – FAO (por sus siglas en inglés), se estiman alrededor de 30 000000 de hectáreas plantadas en la tierra, y se predice un incremento en muchas zonas, debido a la ventaja que se menciona ya que contiene y accede a los molinos cambiar la elaboración de azúcar y la de etanol, también se puede adquirir derivados como electricidad del bagazo de la caña y bioplásticos, por lo cual existe 86 por ciento de cultivos de caña en el planeta pero los países pioneros en la producción son Brasil, India, China y Tailandia.

De acuerdo a la Federación Nacional de Azucareros - FENAZUCAR, existen más de 110.000 hectáreas de caña de azúcar en Ecuador, de las cuales entre 80.000 y 85.000 hectáreas se destinan a la producción de azúcar y, lo restante se utiliza para la producción de etanol y otros derivados como la panela.

El bagazo es procedente de la materia seca vegetal fibroso de los tallos de caña, conseguido por molindas de fábricas que tienen partículas chicas en promedio de doce a 20 milímetros mostrando también físicamente unidades celulosas con fibras soluble e insolubles y químicamente 46.6% de celulosa, 25.2% de hemicelulosa y 20.7% de lignina. (Rivera,2016)

El patrimonio vial del Ecuador, durante décadas, ha sido afectado por la falta de intervenciones oportunas, generando incremento de costos de mantenimiento y de operación de las mismas. A partir del año 2009, hasta el 2020 el Ecuador ha implementado una modalidad diferente de mantenimiento vial, denominada “Mantenimiento Vial por Niveles de Servicio”; comprende la ejecución de obras necesarias para la reparación y mejoramiento de una vía, que permitan alcanzar niveles de servicio óptimos, y la conservación del sistema vial, durante un período determinado de tiempo periodo en el cual el ecuador ha construido 24 000 km de carpeta asfáltica. (Tapia Ortega,2016)

Nuestro proyecto de investigación propone utilizar hormigón asfáltico reciclado como agregado en la mezcla asfáltica, porque este material es uno de los que ocasiona mayor contaminación a nivel de Latinoamérica, debido que se un sitio de posición final o uso de ese material reciclado por lo tanto muchas veces hasta se deja a lado de las vías ocasionando contaminación tanto visual como contaminación ambiental

La arena volcánica producto de las erupciones volcánicas alojadas normalmente al pie de los volcanes es considerada como un material que contamina el medioambiente al adicionarlo como agregado en la mezcla asfáltica se lograría evitar que este elemento siga contaminando el medio. Varios países en América presentan actividad volcánica. Por ejemplo, el volcán Tungurahua, ubicado a 180 kilómetros de Quito y a 5,020 metros sobre el nivel del mar, lanzó millones de toneladas de ceniza, cubriendo más de 35,000 hectáreas de cultivos. (Narváez ,2004).

En el Ecuador se presenta algunos volcanes: Cotopaxi, Tungurahua, El Reventador, Cayambe, Guagua Pichincha, Chacana, Sumaco y Sangay. De estos, El Reventador está en erupción. En Las Islas Galápagos tenemos seis volcanes; cinco han tenido erupciones

en los últimos 250 años. Estos son: Wolf, Darwin, Alcedo, Cerro Azul y Sierra Negra (actualmente en erupción). El Instituto Geofísico (IG) se encarga de analizar el peligro o amenaza que representan las erupciones. Según los estudios realizados por el IG los volcanes más peligrosos son Cotopaxi, Tungurahua y Guagua Pichincha

La observación visual por parte de los satélites nos permite hacerle un seguimiento de las actividades a los volcanes situados en los continentes o en las islas. Hay entre 60 y 80 erupciones por año en el mundo. Unos de los problemas básicos de la carpeta asfáltica en el pavimento flexibles es el deterioro por su uso, acciones químicas, impactos ambientales, como la lluvia o la temperatura a la que está expuesta la carpeta en el pavimento, la reagudización de la mezcla asfáltica, perdida de flexibilidad o envejecimiento del pavimento flexible son muy frecuentes.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es el diseño de una mezcla asfáltica con la arena volcánica, ceniza del bagazo de la caña de azúcar y hormigón de asfáltico reciclado?

### **1.4. Objetivo general**

Diseñar una mezcla asfáltica con la arena volcánica, ceniza del bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado.

### **1.5. Objetivos específicos**

- Determinar las características y técnicas de la arena volcánica.
- Definir las características técnicas de la ceniza proveniente del bagazo de la caña de azúcar.
- Identificar las características técnicas del hormigón asfáltico a reciclar.

- Calcular las dosificaciones para una mezcla en arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfalto reciclado.
- Determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con la arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfáltico reciclado.

## 1.6. Hipótesis

La mezcla asfáltica utilizando arena volcánica ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfáltico reciclado cumple con lo establecido en las especificaciones para la construcción de camino y puentes MTOP 2003 Ecuador.

## 1.7. Línea de investigación Institución/Facultad

**Tabla 1**

<i>Línea de Investigación Institucional/Facultad</i>		
Dominio	Línea de investigación institucional	Sub línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: (ULVR, 2020)

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1.1. ANTECEDENTES.**

Se analizan temas en correspondencia al proyecto de titulación con el fin de obtener conocimiento de las experiencias previas de otros autores, quienes abordaron de alguna forma el análisis de los materiales a utilizar.

Para la primera variable del diseño de una mezcla asfáltica analizaremos las siguientes tesis:

Para la variable del diseño de una mezcla asfáltica, utilizando la siguiente investigación titulada “Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación” realizado por Karlenn Nicol Freire Alvear, como requisito para optar al título de ingeniero civil en Pontificia Universidad Católica del Ecuador facultad de ingeniería escuela de ingeniería civil, presentada en la fecha Quito Ecuador 2018.

(Freire, 2018). Las vías en el Ecuador son en un 75% de pavimento flexible, en el cual se utilizan materiales no renovables, se conoce que el pavimento es una mezcla asfáltica la cual consta de un 80% de agregados y el 20% de asfalto, los agregados provienen de fuentes naturales como, ríos, canteras, etc., por lo tanto lograr reducir el consumo de estos ayudaría a prevenir que en un futuro no se pueda contar con estos recursos, aplicando así el concepto de desarrollo sostenible que ha tomado importancia en los últimos tiempos por el claro deterioro de nuestro planeta principalmente los efectos irreversibles que hemos provocado en nuestro ecosistema, por lo que el estudio de métodos ecológicos y amigables con el medio ambiente en lo que respecta a la viabilidad del país son principalmente enfocados a este cemento asfáltico ya que es el más usado.

(Freire, 2018). En el mundo ya existen diferentes investigaciones sobre pavimentos ecológicos los cuales principalmente se les ha mezclado con, caucho reciclado, plásticos, pavimento flexible reciclado, baterías pulverizadas, vidrio molido, y pavimentos que recolecten energía solar y calórica, etc., para aplicar estas investigaciones en el Ecuador, es necesario realizar ensayos con nuestros materiales, comprobando los cambios que se producen en comparación con el pavimento flexible original, brindando un análisis económico y de beneficios físicos y mecánicos del mismo.

Al aumentar el vidrio molido se observan variaciones significativas en la estabilidad, y flujo, como podemos observar en la tabla siguiente de resultados donde se ve que con vidrio la estabilidad promedio con cada porcentaje va entre 5300-6000 lbf, que es significativamente mayor que con la mezcla original, sin embargo en el flujo también aumenta pero de manera paulatina llegando al límite permitido de 14, con lo que se concluye que si se aumenta el % de vidrio, el flujo aumentaría volviendo a la mezcla rígida y al aplicarla en una capa asfáltica va a provocar fisuramientos temprano, por la presencia de demasiado material fino. Sin embargo la resistencia medida por la estabilidad es mucho mayor con la adición de vidrio molido.

(Freire, 2018). Al realizar los ensayos con el asfalto este no se lo debe calentar a más temperatura de 160 y más de una vez ya que este se lo puede envejecer y variar sus propiedades. Se recomienda que en las mezclas asfálticas con vidrio molido se reduzca el material fino especialmente el pasante de los tamices N°50 hasta el pasante de 200, y se suplante con la adición de vidrio molido para que la relación de vacíos de la mezcla no se aumente o reduzca considerablemente hasta sobrepasar los límites permitidos. El vidrio no absorbe asfalto como el agregado pétreo, por lo cual se requiere de un análisis más detallado para la determinación del porcentaje de asfalto para cada % de vidrio molido.

Este tema aporta en la utilización de un material innovador para utilizar materiales reciclados que beneficien su utilización en el diseño asfáltico, con los porcentajes adecuados puede ser aceptado como parte de los materiales requeridos.

Continuando con la variable del diseño de una mezcla asfáltica, utilizando la siguiente investigación titulada “Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional” realizado por Cristian Elías Jiménez Rojano, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica carrera de ingeniería civil, presentada en la fecha Ambato-Ecuador en el 2017.

(Jimenez, 2017)El presente trabajo, se realizó con el objetivo de proporcionar un pavimento asfáltico con características adecuadas y capaces de disminuir la presencia de fisuras, para lo cual fue necesario recolectar los materiales adecuados. Es para su posterior utilización en la investigación los materiales fueron proporcionados por; JEAL CONSTRUCCIONES ubicada en la ciudad de Ambato sector La Península, como también fue necesario recolectar la cáscara de coco desechada para su posterior extracción de la fibra de coco. En primer instancia fue necesario determinar si los agregados tanto fino como grueso cumplían con las normas INEN Y ASTM D, establecidas para la realización de un pavimento asfáltico, con estos antecedentes se procedió a realizar la granulometría correspondiente al tipo de agregado comprobando que se encuentren dentro de los límites establecido por MOP – 001 – F 2002.

(Jimenez, 2017). La granulometría utilizada en esta investigación cumple con las especificaciones establecidas en la normativa MOP-001-F 2002, la cual estipula los límites granulométricos de los agregados para mezclas asfálticas confirmando que el agregado tanto fino como grueso se encuentren dentro de los límites granulométricos de los agregados. El ensayo de abrasión realizado conforme la Norma INEN 860, arrojaron un 29% de desgaste del agregado grueso por lo que el valor no solo cumple con la especificación establecida para el pavimento asfáltico tradicional, sino que también cumple con el porcentaje que se establece en las especificaciones para pavimentos asfálticos con fibras.

(Jimenez, 2017). Para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico se utilizó tres parámetros esenciales los cuales son, el porcentaje de cemento asfáltico para el

máximo peso específico “Bulk”, porcentaje de cemento asfáltico para un índice de vacíos igual a 4% y el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima estabilidad, resultando 6,09% de contenido óptimo de cemento asfáltico para pavimentos asfálticos tradicionales y 6,76% de contenido óptimo de asfalto para pavimentos asfálticos con fibra de coco. Realizados las briquetas con porcentajes de 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% de cemento asfáltico premezclado con 0,3% de fibras se concluyó que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es de 6,76%, además este valor se encuentra por encima del porcentaje mínimo que deben poseer este tipo de mezclas para asegurar un funcionamiento adecuado de la carpeta asfáltica.

Durante el análisis de resultados se observó que los cambios producto por la incorporación de fibras de coco en el asfalto influyeron directamente en la deformación, tal es el caso que a un porcentaje de asfalto de 5% la deformación del pavimento tradicional es 10,69, entretanto que el pavimento con fibras posee un valor de 12,20, mientras que si se aumenta el porcentaje de asfalto a 7% el pavimento asfáltico tradicional sufre un aumento en la deformación igual a 12,75, mientras que el pavimento asfáltico con fibras disminuye su capacidad de deformarse obteniendo 110 así un valor igual a 11,43. Produciendo una reducción en la capacidad estructural del Pavimento. Al elaborar las briquetas de los distintos pavimentos ensayados se pudo notar que el pavimento asfáltico con fibras de coco posee un grado de trabajabilidad más alto que pavimento asfáltico tradicional por el motivo del manejo de las fibras.

(Jimenez, 2017). Es importante tener en cuenta realizar el premezclado de la fibra con el cemento asfáltico antes de que este tenga el contacto con los agregados (calientes) ya que si no se encuentra completamente cubierta con asfalto se produce el proceso de calcinamiento. Al momento de realizar el mezclado fibra - cemento asfáltico tener mucho cuidado que el cemento asfáltico solo se encuentre a temperatura que proporcione un estado líquido al asfalto para que la fibra al momento de ser introducida no se cocine. Si se utiliza fibra natural que no proceda de ninguna industria especializada en el manejo de estas, se verá la forma de en lo posible la eliminación de toda impureza.

Este tema nos proporciona la importancia de realizar los estudios previos a cada material para determinar sus características físicas adecuadas para cumplir con lo requerido en las normas establecidas para el diseño asfáltico.

Continuando con la variable del diseño de una mezcla asfáltica, utilizando la siguiente investigación titulada “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo sbs pg 70 -28” realizado por Víctor Rafael Estrada Escalante, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Andina del Cusco. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil carrera de ingeniería civil, presentada en la fecha Cusco-Perú en el 2017.

(Estrada, 2017). Teniendo en consideración que en la región del cusco se tiene por costumbre utilizar las mezclas asfálticas convencionales con asfalto pen 85/100, se tomó como mezcla patrón la mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus, y en este trabajo se presenta una propuesta de mejora a través de una mezcla asfáltica modificada con polímero sbs pg 70 -28, la misma que toma en consideración el uso de un ligante asfáltico modificado con polímero y clasificado por performance grade (pg) recomendada por la metodología superpave para ser utilizada en climas fríos, como es el caso de la ciudad del cusco. Para efectos de investigación los diseños para ambos tipos de mezclas asfálticas, se realizó teniendo en cuenta las mismas consideraciones, utilizando los mismos agregados y la misma gradación para ambas mezclas asfálticas, teniendo como única variable el tipo de ligante asfáltico utilizado para los diseños de mezcla, posteriormente fueron moldeados los cuerpos de prueba para los ensayos de desempeño teniendo en consideración el contenido óptimo de las mezclas asfálticas estudiadas.

(Estrada, 2017). “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un menor nivel de flujo”, con respecto a esta propiedad la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 presento un flujo igual a 14.10mm (tabla 4.1), similar al resultado que se obtuvo para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 que presento un flujo igual a 14.00 mm (tabla 4.1), lo cual podría llevarnos a la conclusión de

que ambas mezclas asfálticas presentan similares valores de flujo, sin embargo, es importante aclarar que debemos tener en cuenta que estos valores de flujo se obtienen a distintos niveles de estabilidad o de carga aplicada, por ende la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 tiene un mejor comportamiento mecánico que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.

(Estrada, 2017). En cuanto a la resistencia a la deformación permanente” ya que nuestra mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 logro pasar el ensayo de la rueda de Hamburgo, resistiendo los 20 000 ciclos o pasadas y presentando una profundidad ahuellamiento de 3.790 mm en promedio, muy superior a la mezcla asfáltica convencional PEN85/100 donde no se llegó a culminar el ensayo, debido a que alcanzo la máxima profundidad de ahuellamiento de 12.50 mm (tabla 4.2) a las 15 631 pasadas o ciclos en promedio. Por lo tanto por los resultados obtenidos se concluye que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 presenta una mayor resistencia a la deformación permanente, garantizando de esta manera una resistencia a los problemas de deformación permanente o ahuellamiento que se generan en los pavimentos debido a la acción de volumen de tráfico pesado y cargas lentas.

(Estrada, 2017)Teniendo en consideración el crecimiento exponencial de volumen de tráfico en nuestro país y una política deficiente de control de pesos y medidas lo que conlleva a fallas prematuras en los pavimentos, el asfalto modificado con polímero SBS PG 70 -28 acaba siendo la alternativa más eficiente para ser utilizada en nuestras vías, ya que el uso de este tipo de mezclas garantizaran una mayor durabilidad de nuestros pavimentos ofreciendo seguridad y confort al usuario. Los diseños de mezclas asfálticas no deben ser meramente de carácter volumétrico como los que en la actualidad se realizan sino que deben ser complementados con ensayos de desempeño (resistencia a la deformación permanente y resistencia a la fatiga) que nos permitan verificar el comportamiento real de la mezcla asfáltica, lo cual garantizará un diseño correcto.

(Estrada, 2017). En la etapa de diseño de mezclas se recomienda realizar una selección adecuada del agregado a ser utilizado a través de un control riguroso a sus características,

debido a que este es el mayor problema que se presenta en las mezclas asfálticas, tanto en el país y principalmente en la ciudad de Cusco, donde muchas de las canteras existentes no cumplen con los requerimientos establecidos por las especificaciones generales de carreteras EG – 2013 para mezclas asfálticas en caliente debido a la naturaleza geológica del agregado y a los serios problemas en los procesos de trituración de la piedra (forma, caras fracturadas, angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino, micro y macro textura del agregado, absorción, equivalente de arena, azul de metileno, etc.).

Este tema nos contribuye para verificar los cálculos utilizando el método Marshall, que es lo que utilizaremos en referencia a nuestro tema investigativo.

Para nuestra segunda variable que es la arena volcánica tenemos las siguientes tesis en análisis:

Continuando con la variable arena volcánica, utilizando la siguiente investigación titulada “Uso de arena volcánica en la elaboración de mortero premezclado para revestimiento de paredes” realizado por Luis Felipe Baquero Brito y José Luis Baquero Brito, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, presentada en la fecha Guayaquil-Ecuador en el 2018.

(Baquero & Baquero, 2018). Los morteros han sido utilizados desde las construcciones babilónicas hasta la actualidad; sin embargo, su uso y la forma de fabricación se han ido reconstruyendo en el transcurso del tiempo. Con una investigación se determinó el problema de que el mal uso y dosificación de la arena volcánica en la fabricación de morteros está generando como resultado un material no deseado, ya que, los procesos que realizan no son los apropiados para obtener un material que contengan los componentes correctos; si se siguen utilizando esos materiales deficientes, puede causar deterioros y grietas en las paredes con el tiempo. El enfoque de esta investigación, se basa en brindar la solución del uso de la arena volcánica para el mejoramiento de los morteros, existen

otros materiales que vuelven más resistentes al hormigón, previniendo la segregación y delaminación del concreto, mejorando la durabilidad y minimizando las grietas que se forman en el concreto. Para determinar el resultado de dosificación de la arena se efectuaron varias fórmulas y pruebas, en el cual arrojaron resultados positivos de viabilidad para efectuar su uso.

(Baquero & Baquero, 2018). El estudio evaluó la factibilidad del uso de la arena volcánica para la preparación de morteros de concreto, donde se evaluó las propiedades de dicho agregado por medio de las pruebas de granulometría, clasificación de suelos, gravedad específica, absorción de agregado fino y peso unitario. Se realizaron tres pruebas de mortero que permitieron conseguir la dosificación óptima de agregado de arena volcánica. La primera prueba se realizó para una resistencia del concreto  $f'c$  125 Kg/cm<sup>2</sup>, tomando en cuenta un margen de error de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, con una relación de agua cemento de 0.65. La mezcla de mortero debe cumplir con los parámetros preestablecidos por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (M.T.O.P.),

(Baquero & Baquero, 2018). Se recomienda que se respete la dosificación aplicada en este estudio debido a que la relación agua cemento para el agregado de esta arena volcánica es uno de los factores más importantes para la preparación de un mortero apropiado. La arena volcánica de la muestra escogida como agregado para morteros a utilizar en revestimientos de paredes, mostró ser un agregado apropiado de acuerdo a sus características físicas.

Esta tesis nos ayuda para verificar los ensayos de la arena volcánica ya que igual será parte en el diseño de asfalto en vez de la arena tradicional nos aporta mucho en nuestro agregado.

Continuando con la variable arena volcánica, utilizando la siguiente investigación titulada ““Estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica con agregado de origen volcánico (escoria y arena), adicionadas con polímero

etileno vinil acetato (eva), utilizando el ensayo marshall” realizado por Cristina Isabel Romero Bayas, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, presentada en la fecha Ambato-Ecuador en el 2017.

(Romero, 2017). En el presente trabajo experimental se analizan los resultados obtenidos de un estudio realizado para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica adicionada con Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA). Además, se utilizaron dos tipos de material pétreo para la conformación de las mezclas, material convencional obtenido en la Mina Villacrés y material de origen volcánico obtenido en la ciudad de Baños, esto con la finalidad de determinar la idoneidad de cada material para la elaboración de la mezcla. Para alcanzar los objetivos propuestos se utilizó el ensayo Marshall. Como consecuencia del presente estudio se da viabilidad a la utilización de EVA para el mejoramiento de las mezclas asfálticas, además de dejar un precedente para futuras investigaciones sobre los beneficios de utilizar este polímero en mezclas modificadas en el Ecuador

(Romero, 2017). El peso Bulk disminuye mínimamente en la mezcla con adición de Polímero EVA en comparación con la mezcla sólo con el contenido óptimo de asfalto. Teniendo su valor máximo con el contenido óptimo de EVA y Asfalto. El contenido de vacíos al aire sufre un incremento en las mezclas con adición de EVA, sin salir de los parámetros aceptables según la norma. La variación del contenido de vacíos en el agregado mineral es mínima entre la mezcla modificada y la mezcla solo con asfalto. Los valores de estabilidad alcanzados por las mezclas modificadas son mucho mayores que los alcanzados por la mezcla convencional; tanto para la mezcla con agregado convencional y EVA, así como para la mezcla con agregado de origen volcánico y EVA. La fluencia de las briquetas con Polímero EVA tiene un incremento importante con respecto al valor arrojado por las briquetas sólo con el contenido óptimo de asfalto, esto se produce tanto en la mezcla con agregado convencional y EVA, como en la mezcla con agregado de origen volcánico y EVA.

(Romero, 2017). Se recomienda realizar todos los ensayos necesarios con los agregados, con la finalidad de conocer el tipo de material que se va a utilizar y determinar si es o no adecuado para la mezcla que se quiere realizar. Garantizar que todos los ensayos realizados, tanto con los agregados como con la mezcla asfáltica, cumplan con las normas respectivas, verificando que los valores obtenidos estén dentro de los parámetros tolerables expresados en dichas normas. Al elaborar las briquetas, se debe ir comprobando la temperatura tanto del asfalto como de los agregados, que deben estar dentro de un rango permisible de 160 a 180°C. En caso de que la mezcla se enfríe se debe desechar la muestra, ya que en este caso los agregados no se ligarán adecuadamente. De igual manera, si la muestra se sobrecaliente, se debe descartar y elaborar una nueva, pues el exceso de calor altera las propiedades del asfalto.

Esta tesis nos provee analizar la importancia de este agregado como parte de una mezcla ya que tiene que cumplir con todos los parámetros necesarios para su utilización.

Continuando con la variable arena volcánica, utilizando la siguiente investigación titulada “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón con: escoria volcánica como sustituto del agregado grueso y arena volcánica como sustituto del agregado fino” realizado por Revelo Andrade Christian Javier, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, presentada en la fecha Ambato-Ecuador en el 2016.

(Revelo, 2016). Se analizó las propiedades físicas y mecánicas de los agregados grueso y fino, componentes del hormigón, y a su vez verificar si los mismos cumplen con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana. Posteriormente se realizó la dosificación del hormigón utilizando el método de la Densidad Optima, para resistencia  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ , con un asentamiento de 6 a 9 cm debido a que es el tipo de hormigón

más utilizado en el medio de la construcción. A partir de una misma dosificación se tomaron probetas cilíndricas con diferentes porcentajes de agregado volcánico (escoria y arena), además de elaborar un hormigón patrón de referencia (sin agregado volcánico) con la finalidad de verificar la influencia del agregado volcánico sobre la resistencia a la compresión del hormigón.

(Revelo, 2016). Se observa que mientras aumenta la cantidad de agregado volcánico su resistencia disminuye (Tabla 35 y 36). El hormigón elaborado con agregado de origen volcánico (Escoria y Arena) por su baja densidad media, es ideal para la construcción de elementos secundarios como: aceras, bordillos, losas de cubierta, entre otros. Que requieran ser ligeros a fin de reducir carga muerta. El hormigón con agregado de origen volcánico (escoria y arena) también se puede utilizar para elementos de relleno que no soporten cargas estructurales.

(Revelo, 2016). Tener cuidado con la relación agua/cemento al momento de la dosificación de hormigón, ya que al aumentarla cantidad de agua la resistencia final del hormigón baja considerablemente. Al elaborar hormigones con agregado volcánico, utilizar el método de compactación por vibración, para evitar fractura del agregado grueso y porosidad en el hormigón. Realizar un curado constante para que el hormigón alcance resistencias deseadas.

Nos aporta para conocer la importancia de la utilización de utilizar materiales innovadores como es la arena volcánica como parte de los agregados en las obras civiles.

Para nuestra tercera variable que es la ceniza de bagazo de la caña de azúcar tenemos las siguientes tesis en análisis:

Continuando con la variable ceniza de bagazo de la caña de azúcar, utilizando la siguiente investigación titulada “Ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto. Exploración preliminar del potencial de uso de la ceniza del valle del Chira” realizado por Sergio Miguel Guerrero López, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad de Piura Facultad de Ingeniería Civil, presentada en la fecha Piura-Perú en el 2020.

(Guerrero, 2020). Frente a la problemática planteada, adquiere importancia el estudio de diferentes alternativas de uso para el residuo. Entre estas destaca la utilización de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar CBCA en la fabricación de morteros y concretos, para lo cual es necesario revisar las investigaciones que vienen siendo realizadas en países productores de caña como Brasil, India, Pakistán, acerca de la incorporación de CBCA como reemplazo porcentual de la arena -investigaciones de Sales y Araújo, 2010; Camargo, Pereira, Akasaki, Fioriti, Payá, Pinheiro, 2014; Almeida, Sales, Moretti, Mendes, 2015- o como reemplazo porcentual del cemento -investigaciones de Ganesan, Rajagopal, Thangavel, 2007; Chusilp, Jaturapitakkul, Kiattikomol, 2009; Srinivasan y Sathiya, 2010; Rukzon y Chindaprasirt, 2011; Montakarntiwong, Chusilp, Tangchirapag, Jaturapitakkul, 2013; entre otros. Las investigaciones previas reportan distintas condiciones y resultados de la utilización de la ceniza en la producción de morteros y concretos.

(Guerrero, 2020). Es importante destacar que actualmente el proceso de quema se ha optimizado para obtener la mayor cantidad de energía de cogeneración por lo que realizar variaciones en la temperatura y/o el tiempo de quema del bagazo podría llevar a posibles pérdidas de eficiencia del proceso. El planteamiento de un incremento en la temperatura y/o el tiempo de quema del bagazo con el propósito de obtener una ceniza más adecuada para su utilización en morteros y concretos, requerirá la evaluación de factores relacionados a las especificaciones de la cámara de combustión, análisis térmicos, así como la evaluación de la factibilidad técnico-económica 118 de realizar el proceso a escala

industrial. En este tema se plantea la posibilidad de futuras investigaciones. Eventualmente, aun cuando la ceniza CBCA en su estado actual no presenta condiciones favorables para su utilización en morteros y concretos, podría evaluarse su incorporación directa en el proceso de clinkerización, que combustionaría la materia orgánica en cuestión y se prevé aprovecharía el potencial puzolánico de la ceniza.

Nos aporta la importancia de considerar la temperatura que tiene la ceniza de bagazo de la caña de azúcar para la elaboración de la mezcla asfáltica y considerar porcentajes mínimos para poder cumplir con las normas requeridas.

Continuando con la variable ceniza de bagazo de la caña de azúcar, utilizando la siguiente investigación titulada “Efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto” realizado por Pastor Simón Hary Hernando, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Cesar Vallejo Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, presentada en la fecha Trujillo-Perú en el 2017.

(Pastor, 2017). En la presente tesis se evaluó el efecto de la ceniza de caña de azúcar en la resistencia del concreto. Por ende, se realizó una investigación en la cual se reemplaza parcialmente el uso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), dentro del concreto. Lo que se busca con dicho proceso es que no se afecten las propiedades mecánicas del concreto, sobretodo en la resistencia a la compresión; siendo el objetivo principal de este trabajo. Los resultados obtenidos gracias al ensayo de resistencia a la compresión en las probetas experimentales en relación a los días de curado, la resistencia a la compresión de las probetas a los 7 días de curado, se logró un promedio de 144.25 kg/cm<sup>2</sup> para las muestras estándar, 140 kg/cm<sup>2</sup> para las muestras con 20% de ceniza y para las muestras con 40% de ceniza 117.75 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las probetas a los 28 días de curado, obtuvieron una baja resistencia a la compresión. Para las probetas estándar obtuvieron un promedio de resistencia de 212.75 kg/cm<sup>2</sup>; el cual era lo que se quería obtener, pero para las probetas con 20% de ceniza obtuvieron una resistencia a la

compresión promedio de 162 kg/cm<sup>2</sup> y para las probetas con 40% de ceniza un promedio de 162.5 kg/cm<sup>2</sup>. Llegando a la conclusión que el uso parcial de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, en este caso con los porcentajes de 20% y 40%, reduce notablemente las propiedades mecánicas al concreto, en este caso a la resistencia a la compresión.

Nos colabora en la verificación de la rotura a compresión, en nuestro caso nos ayudaría en el ensayo de estabilidad y ver la relación que podría tener en el diseño asfáltico con el concreto en cuestión de porcentaje a utilizar.

Continuando con la variable ceniza de bagazo de la caña de azúcar, utilizando la siguiente investigación titulada “Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y permeabilidad del hormigón” realizado por Vélez García Eduardo Isaac, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Facultad de Ingeniería Civil, Ingeniería Civil, presentada en la fecha Guayaquil-Ecuador el 2019.

El residuo o ceniza de bagazo de caña de azúcar ya que su disponibilidad es alta y es botado en lugares apartados de la ciudad, pocas son las empresas que ocupan estas cenizas para la obtención de energía, siendo este una posible fuente de aporte para el mezclado del hormigón por su porcentaje de Sílice (SiO<sub>2</sub>) que aumenta la resistencia e impermeabilidad, además de tener abundante materia prima principalmente en la costa ecuatoriana. Se ha demostrado en diversas investigaciones que al utilizar de diferentes tipos de puzolanas se logran incrementar las propiedades mecánicas del conglomerado además de incrementar su impermeabilidad. Estos materiales puzolánicos pueden aumentar resistencia a erosiones químicas al hormigón como también la durabilidad cuando son utilizadas como mezclas minerales en hormigones de uso estructural. Esto es debido a que el hidróxido de calcio producido por la hidratación del cemento reacciona con la puzolana.

Es importante recalcar que los resultados tanto de resistencia y absorción de agua, son similares en las mezclas de hormigón común y hormigón con CBCA en los primeros 30 días. A los 90 días de curado se empieza a tener mejoras en cuanto a los resultados, esto se debe a que se forman reacciones puzolánicas, que van cerrando gradualmente los poros en el hormigón y hacen que este desarrolle impermeabilidad. Es interesante observar que las mezclas con CBCA redujeron los valores de absorción de agua considerablemente, a los 90 días de curado las probetas con 5% de CBCA redujeron los valores de absorción de agua en un 37% y las de 10% de CBCA se redujo a un 46% con respecto a los valores de 30 días de curado. También se observa que aumentando los días de curado se reducen más los valores de absorción de agua, en un 51% para las mezclas con 5% de CBCA y un 58% de reducción para las mezclas con 10% de CBCA, con respecto a los resultados de los 30 días

La aportación de esta tema de tesis es ver si la puzolanas en el concreto también puede contribuir es su durabilidad y estabilidad en el diseño asfáltico.

Para nuestra cuarta variable que es hormigón asfáltico reciclado tenemos las siguientes tesis en análisis:

Continuando con la variable hormigón asfáltico reciclado, utilizando la siguiente investigación titulada “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima 2019” realizado por Robinson Balbin Archi y Victor Hugo Chochon Gomez, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad San Martín de Porres Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil, presentada en la fecha Lima-Perú en el 2019.

(Robinson & Chochon, 2020). El empleo de pavimentos deteriorados reciclados resulta una opción económica interesante para generar nuevos pavimentos; sin embargo, más allá del ahorro económico, habría que determinarse si mecánicamente tiene un

comportamiento adecuado a las normas vigentes. La presente investigación consiste en diseñar una mezcla asfáltica con material reciclado a fin de mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay, ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019. La metodología que se realizó es en función a la investigación cuantitativa, ya que se realizará un estudio y análisis base, en la medición de sus propiedades. También es descriptiva debido a que observa parámetros negativos y positivos que el reciclado ejerce en el comportamiento mecánico

(Robinson & Chochon, 2020). Respecto al diseño de la mezcla asfáltica con material reciclado, para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay, se identificó que la carpeta asfáltica se encuentra en mal estado al ser contrastado en el huso granulométrico de una MAC-2. Dentro de la evaluación a 15 briquetas, en distintos porcentajes de cemento asfáltico, se verificó el porcentaje de cemento asfáltico que debe incrementarse: un 4.1% de adición al 3% obtenido al inicio del lavado asfáltico, sumando un total de 7.1% de cemento asfáltico requerido. Al realizar la curva granulométrica del pavimento reciclado, se observó con respecto a la malla n.º 4, hacia arriba, existe una deficiencia de agregado grueso; puesto que no cumple con los husos granulométricos. La que se corrigió incrementando la cantidad de agregado grueso en un 30%, en relación a la piedra huso 67 de 10%, y al confitillo de 20%. Al realizar la corrección de los agregados gruesos, dentro del material reciclado, se determinó una deficiencia en el agregado fino, la que la deja fuera del huso granulométrico, la que se volvió a corregir incrementando la cantidad de agregado fino en un 30%, la que resulta, principalmente, arena de pavimento.

La contribución de este tema tesis nos enseña la importancia de los ensayos granulométricos para utilizarlo como agregado grueso, cumpliendo con las especificaciones requeridas para el diseño de mezcla asfáltica.

Continuando con la variable hormigón asfáltico reciclado, utilizando la siguiente investigación titulada “Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andrés Avelino Cáceres - Provincia de Concepción 2020” realizado por Paolo Luis Santa Cruz Veliz, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la Universidad Continental Facultad de Ingeniería Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil , presentada en la fecha Huancayo-Perú en el 2021.

(Santa Cruz, 2021). Para analizar el comportamiento de las mezclas se emplea el ensayo Marshall, tracción indirecta y resistencia a la compresión según el Manual de Especificaciones Técnicas (EG 2013). Además, se emplea el ensayo Cántabro que permite analizar la resistencia por abrasión. En la fase experimental, se elaboran 4 tipos de mezcla con diferentes porcentajes de material reciclado 0%, 20%, 40% y 60%, para cada mezcla se fabrica 5 series que presenta un contenido de líquido asfáltico distinto, con el fin de obtener la cantidad adecuada de material reciclado y de líquido asfáltico sobre el comportamiento mecánico de la mezcla. Como resultado se obtiene que, a mayor contenido de material reciclado en una nueva mezcla asfáltica presenta mayor densidad, estabilidad, rigidez, pérdida por desgaste y resistencia a compresión. Y, por el contrario, disminuye el flujo, vacíos en el agregado mineral, vacíos con aire como también, la resistencia retenida decrece haciendo más susceptible al agua. Cabe mencionar que el material reciclado aporta asfalto envejecido que hace más rígida la nueva mezcla y por ende más resistente. Finalmente, se comprueba que se puede utilizar hasta el 40% de material reciclado en una nueva mezcla asfáltica.

Este tema de tesis nos proporciona la importancia de los ensayos a nivel de desgaste y porcentajes de vacíos, así como el diseño por medio del método Marshall dichos cálculos serán empleados en el tema investigativo del diseño asfáltico propuesto.

Continuando con la variable hormigón asfáltico reciclado, utilizando la siguiente investigación titulada “Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - pachacamac” realizado por Paccori Mori Franklin Luis, como requisito para optar al título de ingeniero civil en la UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES FACULTA DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, presentada en la fecha Lima-Perú en el 2018.

(Paccori, 2018). En la conservación de vías a través del mantenimiento y la rehabilitación, especialistas en el ámbito de ingeniería de carreteras proponen como alternativa de solución el uso del material asfáltico reciclado como alternativa de rehabilitación para fallas superficiales y estructurales, debido a que los métodos teóricos aplicado en el proceso pueden generar mejores beneficios. El reciclado de pavimentos tiene una variedad de ventajas, entre las principales son la parte económica, ambiental y proceso constructivo, etc., según estudios de investigación sobre el tema de reciclaje de pavimentos, su forma de aplicación en una rehabilitación puede ser con una mezcla en frío o una mezcla en caliente

(Paccori, 2018). La aplicación del pavimento flexible reciclado en rehabilitaciones viales permite corregir las fallas superficiales y severas, mejorando la transitabilidad vehicular y peatonal, una de las características principales de este sistema de rehabilitación es que pueden llegar a tener un desempeño similar a un pavimento nuevo o al de una rehabilitación convencional. Para el proceso constructivo se consideró los factores técnicos y económicos, el factor técnico comprende obtener un proceso constructivo bueno y una mezcla óptima y el factor económico el costo que necesitara realizar dicho proyecto.

La aportación de este tema tesis nos ayuda conocer que la utilización de material innovador o reciclado su costo sería más económica por ser materiales que no lo consideran su reutilización, por este motivo su presupuesto sería más económico.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

Para la construcción teórica del variable Diseño de una mezcla asfáltica, utilizamos la publicación de la revista de investigación en energía, medio ambiente y tecnología, con el tema “Análisis de Mezcla Asfáltica Drenante como alternativa de Diseño para vía alterna dentro de los predios de la Universidad Técnica De Manabí”, publicado el 30 de diciembre del año 2020 por los autores Bravo Tapia Holger Alejandro y Logroño Pico Angelo Raul de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

### **2.2.1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas drenantes a nivel de laboratorio, como alternativa de diseño para vía alterna dentro de la Universidad Técnica de Manabí, de manera que planteo como necesario realizar un diagnóstico detallado de la vía alterna que se requiere elaborar dentro de la Universidad Técnica de Manabí, la misma que brinda ciertas características como la escorrentía propia del cerro ubicado a espaldas de la UTM, lo que justifico elaborar diseños y ensayos en el laboratorio, para constatar las características de los materiales a utilizar en esta vía sean los más adecuados. Los requisitos de seguridad para el tránsito, que son exigidos en la actualidad a las superficies de rodadura, ha llevado a desarrollar materiales con características diferentes a las ya conocidas. La Mezcla Asfáltica Drenante (MAD) o Mezcla Asfáltica Porosa (MAP), es un material que ha sido desarrollado en esta línea de pensamiento (Bravo & Logroño, 2020).

### **2.2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En la presente investigación se utilizó el diseño de mezclas asfálticas drenantes con aditivos provenientes de la cantera URUZCA

#### **2.2.2.1. Agregados**

Son materiales pétreos obtenidos por trituración, que se deben cumplir con la graduación la cual establece la faja granulométrica, aplicada en este caso el tipo C A 13 A –CA 13 B (Guidelines for design of highway internal drainage systems para tamaño máximo de 3/4.) El desgaste de los áridos, mediante el empleo de máquina de los ángeles, debe tener un valor de abrasión menor al 40% El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor al 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio, en la prueba de durabilidad, como se lo dispone la NORMA INEN 863, salvo que las Especificaciones Especiales indiquen otra cosa Los agregados poseerán características tales que, al ser embebidos con materiales bituminosos, más de un 95% de este material bituminoso permanezca impregnando las partículas después de realizado el ensayo de resistencia a la peladura, según la Norma de AASHTOT 182 (Bravo & Logroño, 2020).

#### **2.2.2.2. Asfalto**

Se utilizará cemento asfáltico AC-20 con penetración 60–70, con promotor e adherencia

#### **2.2.2.3. Mezcla Drenante**

La mezcla drenante deberá tener una estabilidad Marshall superior a 800 Kg a 60 oC y un contenido de vacíos entre el 18% al 25%

#### **2.2.2.4. Aditivos mejoradores de adherencia**

En la mezcla asfáltica drenante es necesario utilizar los aditivos mejoradores de adherencia, estos se concentran en la interface asfalto agregado y crean un enlace químico entre el asfalto y el agregado de la mezcla aumentando su resistencia a la acción del agua. (Kaomin14) (Bravo & Logroño, 2020).

### **2.2.2.5. Métodos**

#### **2.2.2.5.1. Granulometría**

Se utilizan diferentes tipos de especificaciones granulométricas para los diseños de mezcla asfáltica drenante con aditivo de acuerdo a las chilenas y ecuatorianas.

#### **2.2.2.5.2. Gravedad específica de los agregados gruesos**

Los procedimientos y equipos para determinar la gravedad específica en agregados gruesos se lo realizan de acuerdo a la Norma ASSHTO T-85 Y ASTM C-127.

#### **2.2.2.5.3. Gravedad específica de los agregados finos**

Los procedimientos y equipos para determinar la gravedad específica en agregados finos se lo realizan de acuerdo a la Norma ASSHTO T-84 Y ASTM C-128.

#### **2.2.2.5.4. Gravedad Específica neta (Gsb)**

Proporción de masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyen vacíos permeables e impermeables de material) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al del agua destilada a una temperatura indicada (Bravo & Logroño, 2020).

### **2.2.2.6. Fabricación**

El tiempo de preparación de una Bach será de 30 a 40 s, el tiempo permisible de transporte de la mezcla debe ser menor a 2 horas, su temperatura ambiental de colocación no debe ser inferior a 10° C y no se colocarán en superficies húmedas, ni lloviznas ni lluvias. La mezcla debe tener una temperatura no menor a 60° C, la compactación debe realizarse con rodillo metálico de peso entre 8 y 12 toneladas, sin vibración y cuatro pasadas obteniendo un porcentaje de compactación del 85% al 90%, deben realizarse controles diarios a fin de comprobar la composición

granulométrica, propiedades de Marshall. Para aceptar la calidad de la mezcla esta deberá cumplir con Granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, porcentaje de vacíos, densidad, espesor en obra (Bravo & Logroño, 2020).

### 2.2.2.7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objeto de analizar una mezcla asfáltica como alternativa de diseño de una vía dentro de los predios de la UTM, se detallan características de los agregados, mismos que se obtuvieron de la Cantera Basáltica URUZCA localizada en Km11 Autovía Portoviejo-Manta (Cerro Guayabal), la evaluación de los materiales utilizados para el diseño de la mezcla asfáltica drenante se muestran en la siguiente figura (Bravo & Logroño, 2020).

PARAMETROS	RESULTADO
ENSAYO DE DESGASTE A LOS SULFATOS (%)	7,00
ENSAYO DE ADHERENCIA (%)	100,00
PLASTICIDAD	NP
CONTENIDO DE DELETEROS EN LOS AGREGADOS (%)	0,73
ENSAYO DE ABRASION (%)	16,59
ENSAYO DE PARTICULAS ALARGADAS Y ACHATADAS (%)	6,25
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	44,79

**Figura 1:** Análisis de resultados de la mezcla asfáltica  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

### 2.2.2.8. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA DE DISEÑO

La granulometría de diseño ha sido determinada mediante el análisis y combinación de agregados y es uno de los datos principales en el diseño de mezcla drenante para estar de acuerdo con la metodología Cántabro de acuerdo a la normativa

vigente para mezclas abiertas.[6] La granulometría de la mezcla de materiales utilizadas para la elaboración de los diseños de mezcla asfáltica drenante es la designada como PA-12, para diseños de mezcla asfáltica drenante con aditivo de acuerdo a las normas chilena y ecuatoriana mediante método cántabro se detallan . (Bravo & Logroño, 2020).

Tamiz	Porcentaje que Pasa									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº50	Nº100	Nº200
Agregado 1/2	100	100	49,5		0,46		0,2			
Agregado 3/8	100	100	100	100	35,5					
Especificacion	100	100	90-100		20-40		0			

**Figura 2:** Porcentajes granulométrico  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

Se evidencia que, el resultado con esta combinación de materiales, y contando con un aditivo normado con la NEC en porcentaje igual al 10% de agregado de 1/2" (pulgada), y 90% de agregado de 3/8" en contraste con el diseño de la norma chilena que es de un 34% de agregado de 1/2", 40% de agregado de 3/8 y 26% de "cisco



**Figura 3:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

### 2.2.2.9. DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS

Mediante los ensayos normados por la ASSHTO, los mismos que son: ASSHTO T.85, ASTM C-127 Y ASSHTO T-184, ASTM C-128 para los diseños de mezcla asfáltica drenante, se logró determinar la gravedad específica de cada agregado participante de este diseño de mezcla asfáltica drenante, mismas que se describen en las siguientes tablas. Se generaron probetas, las cuales fueron compactadas con un número igual a 50 golpes por cara, las briquetas elaboradas contaban con un número de tres especímenes por cada porcentaje de asfalto, teniendo rangos desde los 1.5%, hasta el 3.5%. Considerados para la normativa ecuatoriana (Bravo & Logroño, 2020).

AGREGADOS	FRACCIONES		GRAVEDAD ESPECIFICA			% ABSORCION
	PASA	RETIENE	BULK	S.S.S.	APARENTE	
RIPIO 1/2	3/4"	Nº4	2,595	2,626	2,804	3,93
RIPIO 3/8	3/8"	Nº4	2,435	2,588	2,863	6,03

**Figura 4:** Gravedad específica  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

AGREGADOS	FRACCIONES		GRAVEDAD ESPECIFICA			% ABSORCION
	PASA	RETIENE	BULK	S.S.S.	APARENTE	
RIPIO 1/2	3/4"	Nº4	2,525	2,627	2,804	3,93
RIPIO 3/8	3/8"	Nº4	2,436	2,588	2,863	6,03
CISCO	Nº4	Nº200	2,588	2,674	2,833	3,3

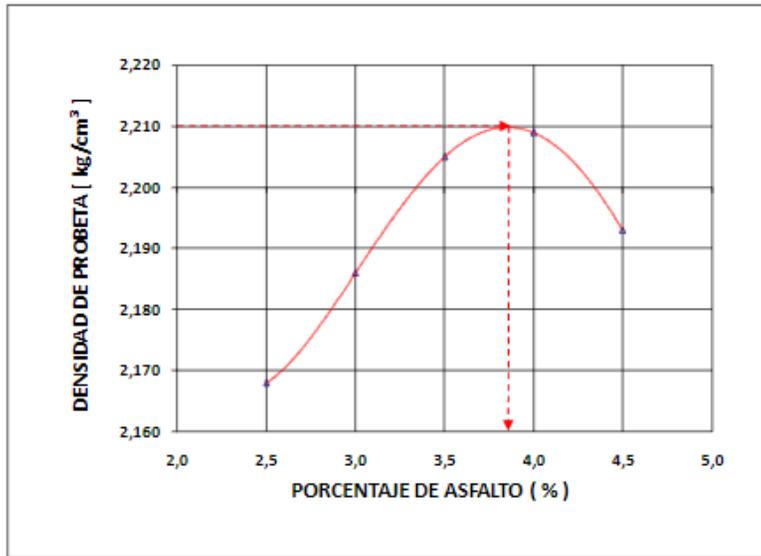
**Figura 5:** Gravedad específica  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

### 2.2.2.10. DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA (BULK)

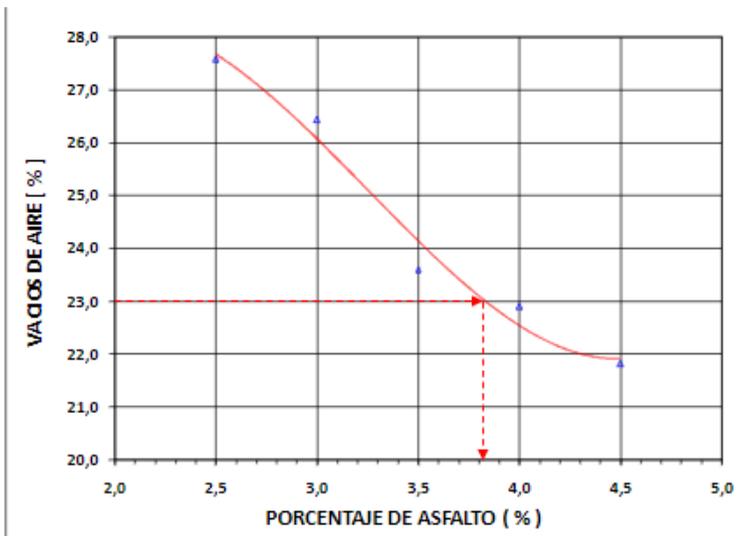
Se determinó la gravedad específica de BULK (Gmb) en cada una de las probetas elaboradas para cada porcentaje de mezcla asfáltica concebida, entonces el paso siguiente fue obtener la media en cada resultado, tal que así nos de la facultad de verificar el comportamiento de las mezclas con cada porcentaje administrado de asfalto. Una vez realizado, se procede al cálculo de la densidad Teórica Rice, posterior a ello, el cálculo de porcentaje de vacíos que corresponda a cada probeta generada, según la cantidad de asfalto que cada una posee. El paso siguiente en el análisis es la determinación de los valores de asfalto absorbido por los agregados minerales en cada mezcla que forma parte del ensayo, estos deberán ser comparados y contratados con la norma ecuatoriana, para cada porcentaje de asfalto que hay sido utilizado en el diseño (Bravo & Logroño, 2020).

% Asfalto	Muestra	Mezcla con Aditivo Norma Ecuatoriana			
		Densidad Bulk	Valor Densidad Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	% Vacios
1,50%	1	2,072	2,079	2,745	23,56
	2	2,08			
	3	2,085			
2,00%	1	2,091	2,094	2,696	22,28
	2	2,093			
	3	2,099			
2,50%	1	2,19	2,217	2,664	20,53
	2	2,25			
	3	2,21			
3,00%	1	2,075	2,057	2,554	19,89
	2	2,049			
	3	2,048			
3,50%	1	2,016	2,021	2,458	17,36
	2	2,025			
	3	2,022			

**Figura 6:** Densidad y vacíos  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

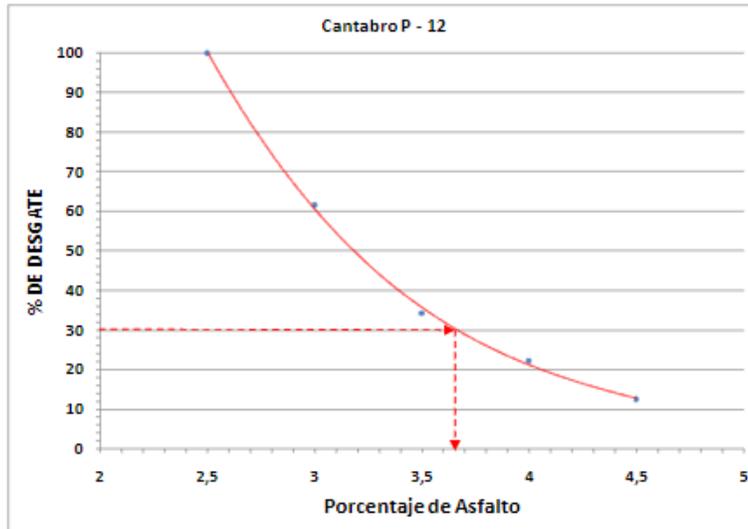


**Figura 7:** Densidad bulk vs % de asfalto  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)



**Figura 8:** % de vacíos vs % de asfalto  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

Parámetros volumétricos de la Mezcla asfáltica Drenante con el porcentaje óptimo de asfalto



**Figura 9:** % de desgaste vs % de asfalto  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

### 2.2.2.11. PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

En la siguiente tabla se expone valores que expresan los porcentajes óptimos para esta clase de mezcla drenante que se ha analizado (Bravo & Logroño, 2020).

PARAMETROS	RESULTADOS OBTENIDOS
D.E. BULK	2,2
% DE DESGASTE	30
% DE VACIOS	23
% ASFALTO	3,65

**Figura 10:** Resumen de resultados  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

Esta tabla representa los valores promedio obtenidos en los gráficos que se han expuesto anteriormente, para conseguir la obtención del valor óptimo para el porcentaje de asfalto de la mezcla, dado este hecho se sostiene que un porcentaje del 3.65% consigue ser estabilizado y equilibrado para una relación de vacíos, desgaste y densidad con respecto al asfalto que se requiere en la mezcla drenante. Este porcentaje de asfalto está en relación al porcentaje que se obtuvo inicialmente en la Gráfica que determina la densidad de 00bulk. Se define, así como el valor óptimo un porcentaje del 3.65% para una mezcla asfáltica drenante que será empleada en una vía alterna dentro de los predios de la Universidad Técnica de Manabí, cuyas características de escorrentía solicitan tal mezcla, con las capacidades descritas., así que se detallan los parámetros volumétricos óptimos a continuación (Bravo & Logroño, 2020).

Parámetros	M.A.D. con Aditivo
% de Asfalto	3,65
ESTABILIDAD	969
FLUJO (0,25mm;0,01 pulg)	9,98
% DE VACIOS	22,85
DENSIDAD RICE (g/cm <sup>3</sup> )	2,66
DENSIDAD BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2,22

**Figura 11:** Parámetros volumétricos óptimos  
**Fuente:** (Bravo & Logroño, 2020)

### 2.2.2.12. Conclusión

Se evidencia que para lograr una mezcla con porosidad adecuada y que mantenga una resistencia a la disgregación y que este dentro de los parámetros normados como mezcla asfáltica drenante, es necesario el empleo de asfalto modificado con aditivo mejorador de adherencia. El valor óptimo de asfalto está en un porcentaje que pudiere variar hasta un máximo de 2.3 %. Para mantener el porcentaje de vacíos que especifica la norma ecuatoriana con respecto a las mezclas asfálticas drenantes. La capacidad de desplazamiento y evacuación de agua, queda demostrada con el ensayo de permeabilidad, y se evidencia a su vez la capacidad drenante de la mezcla analizada (Bravo & Logroño, 2020).

Para la construcción teórica de la segunda variable arena volcánica, utilizamos la publicación de la revista de investigación Espacios, con el tema “Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación  $V_p/V_s$  para depósitos superficiales de ceniza volcánica en Manizales Colombia”, publicado el 12 de marzo del año 2017 por los autores Aristizabal Arias Jorge y Mendoza Alfonso Néstor de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

### **2.2.3. Obtención de propiedades mecánicas**

#### **2.2.3.1. Introducción**

Los centros poblados de la región Andina colombiana están permanentemente expuestos a fenómenos de remoción en masa, producto de las condiciones geológicas, hidrológicas, topográficas y antrópicas. Adicionalmente, las erupciones de los domos volcánicos como el complejo Ruiz – Tolima en el centro occidente del país hacen que los depósitos predominantes en superficie sean de ceniza volcánica; en el caso particular de la ciudad de Manizales estos materiales son los de mayor relevancia en los fenómenos de inestabilidad. Las estadísticas oficiales de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia (UNGRD, 2016) indican que en la región Andina, particularmente en la capital Caldense, los deslizamientos son el tipo de evento que mayor número de muertes y afectación a personas ha generado en los últimos 20 años; dicha afectación obedece a factores de origen natural y antrópico que se interrelacionan, en ellos se destacan, la topografía abrupta, el componente geológico representado en la sismicidad y origen de los depósitos, el componente hidrológico explicado en los intensos y prolongados períodos de lluvia, la deficiente planificación urbana y las malas prácticas constructivas (Aristizabal & Mendoza, 2017).

El análisis de estabilidad de taludes y el diseño de estructuras de contención requieren conocer las propiedades mecánicas del suelo (cohesión, fricción y resistencia a la compresión); la obtención de estas demanda un tiempo importante debido a que los ensayos de laboratorio en el mejor de los casos toman una semana, sin embargo, la

ejecución de ensayos geofísicos tales como líneas de refracción sísmica y la obtención de sus resultados se realiza en un día, no obstante los parámetros obtenidos en estos ensayos geofísicos hoy se limitan a la determinación de espesores del material y clasificación del perfil del suelo, de modo que correlacionar las propiedades mecánicas del suelo con los resultados de los ensayos de refracción sísmica permitiría conocer dichas propiedades de forma rápida y económica, atendiendo de manera oportuna el análisis de estabilidad, la evaluación de amenaza y el diseño de estructuras de contención mejorando la gestión del riesgo de taludes, más aun cuando en la ciudad de Manizales se presentan recurrentemente lluvias prolongadas e intensas que generan gran cantidad de eventos (movimientos en masa) simultáneamente, superando la capacidad de respuesta de los organismos gubernamentales y de los grupos consultores (Aristizabal & Mendoza, 2017).

#### **2.2.3.2. Características Geográficas**

Los depósitos de cenizas volcánicas estudiados se ubican en la región Andina colombiana específicamente en la ciudad de Manizales capital del departamento de Caldas; esta se sitúa en el flanco occidental de la cordillera Central a una altura de 2.150 m.s.n.m. (IGAC, 2014) y a una distancia en línea recta menor a 30 km del complejo volcánico del Ruiz; su proximidad al complejo hace que presente como formación superficial dominante los depósitos de ceniza volcánica producto de múltiples erupciones a través del tiempo, que incluso actualmente son recurrentes dado que el complejo volcánico Ruiz – Tolima aun es activo (Aguirre Montoya, Ballesteros Botero, Gutiérrez Arboleda, & Montoya García, 1992); la dinámica permanente del complejo volcánico hace que la columna de depósitos de caída piroclástica alcance en algunos sectores un espesor de 50 m (Universidad de los Andes, 2001) (Aristizabal & Mendoza, 2017).

#### **2.2.3.3. Depósitos de ceniza (arena) volcánica**

Los depósitos de ceniza volcánica se pueden definir como suelos residuales derivados de materiales volcánicos con densidades bajas, humedad alta y presencia de minerales de aloysita (Suárez Díaz, 1998), además presentan propiedades especiales e inusuales si se

comparan con los suelos sedimentarios convencionales (Wesley, 2010). Los depósitos de la ciudad de Manizales están compuestos por una serie de “fragmentos rotos de pómez y escoria de composición dacítica, así como de fragmentos de rocas (dacitas y andesitas porfídicas) de diferente tamaño que forman niveles de ceniza y lapilli” (Naranjo & Ríos, 1989) (Aristizabal & Mendoza, 2017).

En estos depósitos presentes en la capital caldense se pueden distinguir dos estados del suelo: inconsolidado y consolidado; el primero está compuesto por paquetes de arena volcánica cuyo espesor puede alcanzar de 10 a 50 cm, sobre este depósito descansan paquetes de materiales como ceniza con lapilli, ceniza arenosa y lapilli; el espesor promedio de esta primera unidad en la ciudad varía entre 10 y 15 m, estas cenizas muestran tonalidades de gris, amarillo, café e incluso color rojizo donde se evidencian niveles de oxidación producto del nivel freático, adicionalmente la composición principal de estos estratos son los anfíboles, feldespatos, cuarzo, pómez y líticos; por su condición de inconsolidados son potencialmente inestables si se localizan sobre laderas de pendiente media o pronunciada y específicamente si no existe una cobertura vegetal adecuada.

El segundo estado del suelo denominado toba se localiza infrayaciendo el estado inconsolidado, sus espesores pueden alcanzar los 10 m y se profundizan hasta alcanzar el contacto con las unidades geológicas presentes en la ciudad como lo son las rocas de la formación Quebradagrande, los flujos volcánicos Casabianca y Manizales o las unidades ígneas. La textura de esta unidad es limoarenosa y los colores varían entre café oscuro y claro, gris verdoso y oscuro, y amarillo grisáceo, además, dentro de estos depósitos piroclásticos se pueden detectar niveles de paleosuelos que insinúan la inactividad volcánica entre eventos y su espesor varía entre 1 y 2 m (Aguirre Montoya et al., 1992). Es característica en la ciudad de Manizales la presencia de contactos litológicos entre depósitos de ceniza volcánica superficial y rocas de la formación Quebradagrande o depósitos fluviotorrenciales como la formación Casabianca (Imagen 1). La Imagen 2 muestra un deslizamiento de magnitud apreciable donde el espesor del depósito de ceniza volcánica es cercano a los 10 m; en el Mapa 1 se aprecia que los depósitos de tipo Qcp [Depósitos de lluvia piroclástica; cenizas y lapilli de composición ácida que cubren las

demás unidades a manera de sabana y siguiendo la topografía (Naranjo & Ríos, 1989).] son predominantes en la ciudad, con una ocupación del 44,41% en el área urbana (POT Manizales, 2007) (Aristizabal & Mendoza, 2017).



**Figura 12:** Vetas de cenizas volcánicas  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

#### **2.2.3.4. Propiedades mecánicas del suelo**

##### **2.2.3.4.1. Resistencia a la compresión inconfiada**

Peck y otros (Peck, Hanson, & Thornburn, 1993) indican que la consistencia de un suelo fino en condiciones inalteradas puede ser evaluada en función de la resistencia a la compresión inconfiada ensayando una muestra de suelo cuya altura esté cercana a 2 veces el diámetro, sometiéndola a una carga que garantice que la muestra falle o que alcance el 20% de la deformación unitaria (al no presentar falla) siendo relevante la rapidez con la que se debe realizar el ensayo para garantizar que la pérdida de humedad no represente cambios significativos (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Durante el ensayo se toma el registro de la deformación vertical para cada incremento de carga hasta la falla, luego se procede a realizar la gráfica esfuerzo deformación, el valor de la resistencia a la compresión inconfiada se determina leyendo en la gráfica el máximo esfuerzo que produce la falla. En la Tabla 1 se presentan los valores máximo, mínimo y promedio de la resistencia a la compresión inconfiada qu de un total de 376 ensayos de laboratorio de los depósitos de ceniza volcánica de la ciudad de Manizales

Propiedad	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
Resistencia a la compresión inconfiada qu (kg/cm <sup>2</sup> )	3,45	0,20	1,13

**Figura 13:** Valores de resistencia a compresión de ceniza volcánica  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

#### 2.2.3.4.2. Resistencia al corte

Juárez y Rico (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1996) señalan que el primero en tratar el fenómeno de la resistencia de los suelos fue C.A. Coulomb en 1776, quien identificó que los suelos fallaban por efectos del esfuerzo cortante en planos de falla, estableciendo la denominada ley de resistencia al corte en la que el esfuerzo cortante calculado  $\tau$  depende del esfuerzo normal actuante  $\sigma$  y del ángulo de fricción del suelo  $\varphi$  (Aristizabal & Mendoza, 2017).

$$\tau = \sigma \cdot \tan \varphi$$

De igual manera Coulomb observó que la resistencia al corte de los suelos variaba dependiendo del tipo de material, incluyendo el parámetro de resistencia  $c$  denominado cohesión, característico de las arcillas

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$$

Según Berry y Reid (Berry & Reid, 1993) la resistencia al corte del suelo depende de los esfuerzos efectivos. La determinación de estos parámetros de resistencia puede hacerse mediante ensayos de corte directo convencionales o a partir de ensayos triaxiales estáticos de compresión, si se realizan ensayos de corte directo no consolidado no drenado (UU) se emplean varias muestras de suelo similares, las cuales son sometidas a diferentes esfuerzos normales obteniéndose los valores de esfuerzo cortante correspondiente; una vez se tienen las parejas de esfuerzos se hace la gráfica de los datos y se obtienen los parámetros de resistencia cohesión y fricción. Según Wesley (Wesley, 2010) los valores del ángulo de fricción para los suelos de ceniza volcánica están en un rango de 25 – 35° alcanzando los 40° en algunas arcillas alófanas y aloisitas, y la cohesión efectiva toma valores entre 15-20 kPa. Para el caso particular de las cenizas volcánicas en zonas cafeteras de Caldas, Quindío y Tolima los valores de cohesión varían según Medina y Salazar (Medina López & Salazar Gutiérrez, 2009) entre 10,8 kPa a 54,2 kPa y el ángulo de fricción toma valores entre 18 y 31 grados. Los valores característicos de estas propiedades para el caso particular de los suelos en Manizales (a partir de 89 ensayos de corte UU) se muestran (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Propiedad	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
Ángulo de fricción, $\phi$ (°)	69,3	15,37	29,03
Cohesión, $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1,1	0,1	0,46

**Figura 14:** Valores del ángulo de fricción y cohesión  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

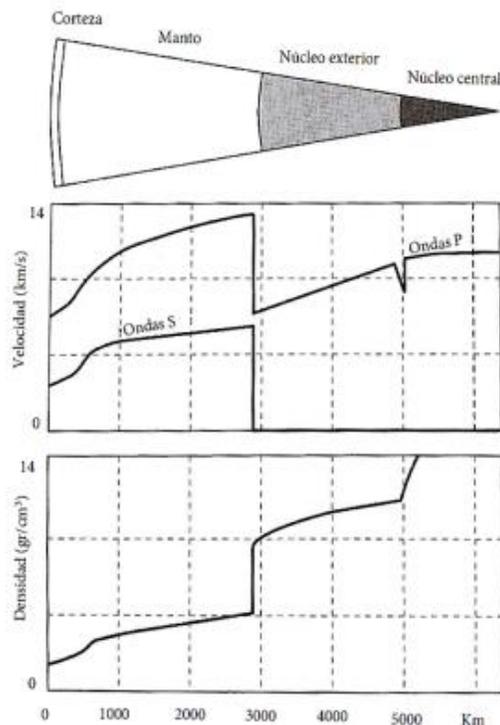
### 2.2.3.5. Propiedades dinámicas del suelo

#### 2.2.3.5.1. Velocidad de onda

Sarria (Sarria, 1995) indica que el movimiento de las placas tectónicas lleva a un almacenamiento de energía en los contornos de estas, esta energía se acumula y posteriormente se libera produciendo los sismos, cuya magnitud según Díaz Rodríguez

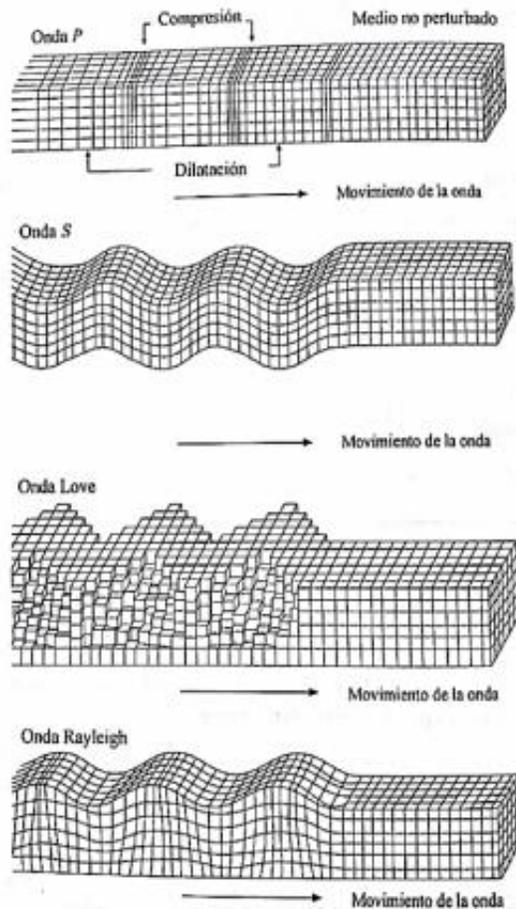
(Díaz Rodríguez, 2005) está asociada a la cantidad de energía que se libera generando ondas de compresión P (P-waves) y ondas de corte S (S-waves).

Las ondas P y S denominadas por Kramer (Kramer, 1996) ondas internas (body waves) se vuelven irregulares a medida que se propagan a través del suelo, la velocidad de dicha propagación dependerá de la rigidez del estrato que a su vez es función de su densidad; la Figura 2 ilustra el comportamiento de las ondas P y S en las diferentes capas de la tierra. Según Sarria (Sarria, 1996) las ondas P se desplazan a mayor velocidad que las ondas S y tienen períodos más cortos, pero las ondas S transportan mayor energía al tener una amplitud superior; las ondas P se comportan como un estrechamiento o estiramiento entre partículas en la misma dirección en la que cambia el estado de esfuerzos y las ondas S que se propagan de forma orthogonal al estado de esfuerzos (Aristizabal & Mendoza, 2017).



**Figura 15:** Variedades de ondas  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

Además de las ondas internas existen las ondas de superficie (surface waves) que se clasifican en ondas Rayleigh (R) y en ondas Love (L), siendo la velocidad de estas dos similar a la velocidad de las ondas S. En la Figura 3 se observa el comportamiento de las ondas internas (P y S) y de superficie (R y L). La velocidad de ondas internas P y S se puede asociar mediante la teoría de la elasticidad a parámetros físicos como el módulo de corte  $G$  [ecuación (2.3)], el módulo de Young  $E$  [ecuación (2.4)], el módulo volumétrico  $K$  [ecuación (2.5)] y la relación de Poisson  $\nu$  [ecuación (2.6)] (Kramer, 1996), donde  $\gamma$  es el peso específico del material y la aceleración de la gravedad (Aristizabal & Mendoza, 2017).



**Figura 16:** Comportamiento de ondas sísmicas  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

$$G = \frac{\gamma}{g} V_S^2$$

$$E = \frac{\gamma}{g} \left[ 3V_P^2 - \frac{V_S^4}{V_P^2 - V_S^2} \right]$$

$$K = \frac{\gamma}{g} \left[ V_P^2 - \frac{4V_S^2}{3} \right]$$

$$v = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2 \left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]}$$

**Figura 17:** Varias fórmulas a utilizar  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

### 2.2.3.5.2. Ensayo de refracción sísmica

El ensayo de refracción sísmica es una prueba de campo empleada para obtener los valores de las velocidades de onda del suelo, el principio fundamental de este ensayo como lo explica Díaz Rodríguez (Díaz Rodríguez, 2005) es la medición del tiempo de propagación de una onda generada por un martillo o explosivo desde un sitio denominado disparo hasta los puntos llamados de observación donde se ubican sensores (geófonos) a distancias predeterminadas (en campo se realiza una distribución de los geófonos cuyo número varía dependiendo del equipo utilizado) (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Las ondas P son las primeras en ser detectadas por los geófonos por ser más rápidas que las ondas S (Sarria, 1996). En la Figura 4 se muestra la ubicación en campo de un sismógrafo de doce canales que muestra el camino de las ondas sísmicas directas y refractadas en un sistema de suelo-roca de dos capas. El sistema de toma de datos consta

de cuatro partes principales: el sistema de arranque, el cable de señal, los geófonos y el equipo registrador (sismógrafo)

Los valores típicos de velocidad de onda obtenidos de ensayos de campo realizados en la ciudad de Manizales se muestran

Propiedad	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
Vp (m/s)	459	108	220
Vs (m/s)	250	117	187

**Figura 18:** Valores de velocidad de honda  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

### 2.2.3.5.3. Correlaciones existentes

En la fase de revisión se pudo establecer que varios autores en diferentes latitudes han desarrollado trabajos para determinar la correlación entre las velocidades de onda con propiedades mecánicas del suelo. Como resultado de estas correlaciones se destacan los estudios hechos por Cha y Cho (Cha & Cho, 2007) donde se muestra en gráficas la correlación de Vs con la relación de vacíos en función del esfuerzo vertical, de igual manera Bery y Saad (Bery & Saad, 2012) proponen una correlación entre Vp y el valor RQD [ $V_p=21,951(RQD)+0,1368$ ] y el valor de N [ $V_p=23,605(N)-160,43$ ], Whiteley (Whiteley, 1983) correlaciona la porosidad efectiva, la velocidad de onda Vp y el ángulo de fricción [ $\phi=b-a V_p$ ] con b y a constantes a nivel regional, donde se muestra que la porosidad del medio es función de la humedad; Sarria (Sarria, 1996) explica que se pueden presentar incertidumbres en el valor de la velocidad de onda cuando los materiales están saturados. Srivastava y otros (Srivastava, Mukerjee, & Sastry, 2010) hacen la correlación

entre  $V_s$  con la resistividad eléctrica  $\rho$  del suelo [ $V_s=48,91 \ln \rho -3,611$ ]. Álvarez y otros (Alvarez Manilla Aceves, Garnica Anguas, & Pérez Salazar, 2003) muestran las gráficas de correlación entre la relación de velocidades de onda  $V_p/V_s$  con la relación de Poisson y con el ángulo de fricción para suelos tipo limo de alta plasticidad (MH) del valle del Querétaro. A su vez Akin y otros (Akin, Kramer, & Topal, 2011) muestran desde 1966 hasta 2009 una serie de ecuaciones de correlaciones entre la velocidad de onda  $V_s$  con la resistencia a la penetración  $N$ , Andrus y otros (Andrus, Piratheepan, Ellis, Zhang, & Hsein Juang, 2004) proponen la correlación para todo tipo de suelos [ $(V_s/1)CS=87,8(N/160)CS^{0,253}$ ], Hasancebi y Ulusay (Hasancebi & Ulusay, 2007) proponen correlaciones para cualquier tipo de suelo [ $V_s=90 N^{0,308}$ ], para arenas [ $V_s=90,82 N^{0,319}$ ], y para suelos arcillosos [ $V_s=97,89 N^{0,269}$ ], Chien y otros (Chien, Lin, & Oh, 2000) proponen la correlación para arenas limosas [ $V_s=22 N^{0,75}$ ], Pitilakis y otros (Pitilakis, Raptakis, Lontzetidis, Tika-Vassilikou, & Jongmans, 1999) proponen para suelos arcillosos [ $V_s=132 N^{0,271}$ ] y arenas limosas [ $V_s=160 N^{0,17}$ ]. Hanumantharao y Ramana (Hanumantharao & Ramana, 2008) presentan una lista de correlaciones desde el año 1970 hasta 2002 al igual que Naik y otros (Naik, Patra, & Malik, 2014), Dikmen (Dikmen, 2009) propone correlaciones para todo tipo de suelo [ $V_s=58 N^{0,39}$ ], para arenas [ $V_s=73 N^{0,33}$ ] y para arcillas [ $V_s=44 N^{0,48}$ ], así mismo Marto y otros (Marto, Soon, Kasim, & Suhatri, 2013) amplían esta base de datos hasta el año 2012 con la correlación [ $V_s=77,13 N^{0,377}$ ]. Wair y otros (Wair, DeJong, & Shantz, 2012) presentan un resumen cronológico de correlaciones entre la velocidad de onda y parámetros como el valor de  $N$  y la resistencia por punta  $q_c$  del ensayo de penetración de cono CPT. Dickenson (Dickenson, 1994) propone correlaciones de la velocidad de onda  $S$  con la resistencia al corte no drenado  $C_u$  [ $V_s=23 C_u^{0,475}$ ] para suelos cohesivos del área de la playa de San Francisco. Watkins y otros (Watkins, Walters, & Godson, 1972) propusieron la correlación entre la porosidad  $n$  y la velocidad de onda  $P$  en rocas insaturadas [ $n=-0,175 \ln V_p + 1,56$ ] (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Pérez y otros (Pérez Santisteban, Martín, Carbó, & Fonticiella Ruiz, 2012) resaltan que para desarrollar correlaciones confiables y representativas se debe tener presente la historia geológica (tensiones, composición litológica, edad, etc.) del lugar y en particular el tipo de suelo que se está estudiando, correlacionan la velocidad de onda  $V_s$  con el

resultado del ensayo de penetración estándar [ $V_s=62,6$  N0,52], con la compresión inconfiada [ $V_s=77,13$  qu0,268], además de tener en cuenta la influencia de la profundidad en ambas correlaciones [ $V_s=71,05$  N0,259 z0,382] y [ $V_s=184,57$  qu0,198 z0,332], y los módulos de Young [ $E=1,8 \cdot 10^{-3}$  Vs2,17], compresibilidad [ $G=5,7 \cdot 10^{-4}$  Vs2,19] y rigidez [ $K=2,2 \cdot 10^{-2}$  Vs1,91]. Del total de correlaciones revisadas no fueron encontradas correlaciones para depósitos de ceniza volcánica en particular, únicamente se hace mención de depósitos tipo limo que son los de mayor similitud a los suelos volcánicos, por ello, la presente investigación pretende dar el primer paso para determinar las correlaciones en este tipo de depósitos cuyo comportamiento particular se debe a su origen, deposición, contenido de humedad y características del esqueleto (Aristizabal & Mendoza, 2017).

#### **2.2.3.5.4. Metodología**

Este documento se enmarca en la metodología investigativa de tipo cuantitativo ya que las variables representadas en datos de laboratorio de suelos se examinan de manera numérica y especialmente en el campo de la ciencia estadística. Adicionalmente como los datos numéricos son empleados sin ninguna manipulación y mediante correlaciones estadísticas, hacemos referencia a una evaluación analítica no experimental.

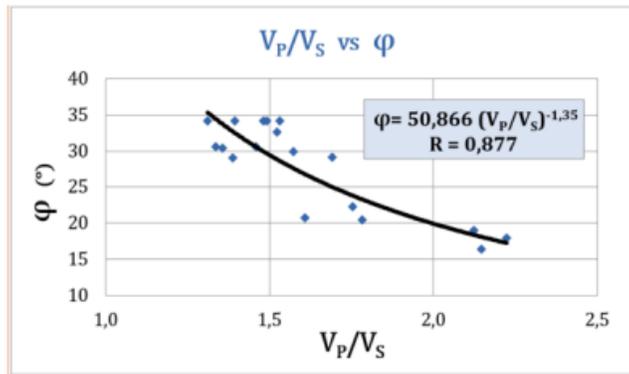
La población objeto del estudio es el área metropolitana de la ciudad de Manizales. Los instrumentos presentes en este proyecto investigativo son los datos de ensayos de laboratorio y ensayos de campo obtenidos en los archivos de las Curadurías urbanas I y II de la ciudad, y las herramientas estadísticas disponibles en la literatura

#### **2.2.3.6. Análisis de resultados**

##### **2.2.3.6.1. Correlaciones propuestas**

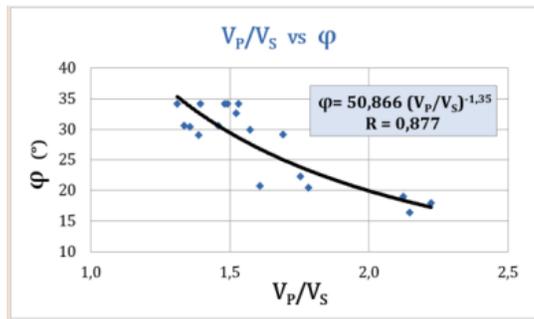
Una vez depurados los datos obtenidos se hace la prueba de bondad de ajuste empleando el test de Kolmogorov-Smirnov (Massey Jr, 1951) validando la aceptación de los mismos. Al realizar el análisis estadístico de la información obtenida se observa que la distribución

log-normal es la que mejor interpreta el comportamiento de los datos y el modelo de regresión potencial es el que presenta un mayor ajuste (coeficiente de correlación mayor).



Fuente: Propia

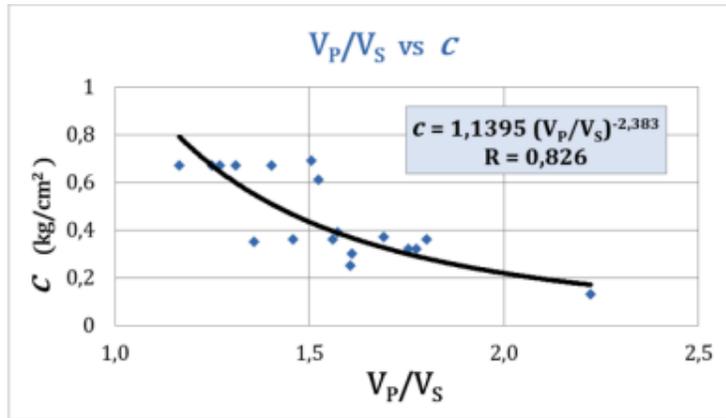
**Figura 19:** Correlación entre la velocidad de honda vs ángulo de fricción  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)



**Figura 20:** Correlación entre Vp/Vs vs ángulo de fricción  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

$$\varphi = 50,866 \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^{-1,35}$$

La correlación entre el ángulo de fricción y la relación de velocidades de onda propuesta en este documento (Gráfico 1) tiene una misma tendencia que la propuesta por el profesor Álvarez (Gráfico 2), adicionalmente el coeficiente de correlación de 0,87 muestra que la línea de tendencia potencial representa una correlación fuerte (Aristizabal & Mendoza, 2017).

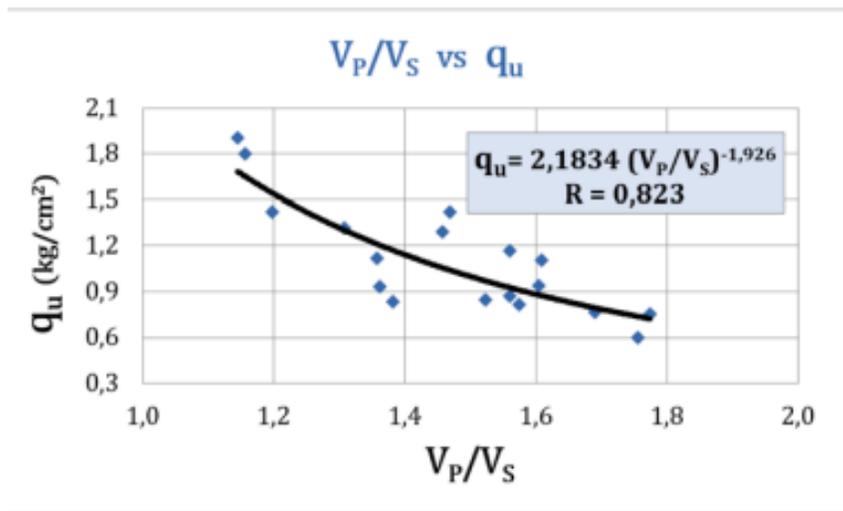


Fuente: Propia

**Figura 21:** Correlación entre en el ángulo de fricción vs ángulo de velocidad  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

$$c = 1,1395 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^{-2,383}$$

Al igual que para el caso anterior la correlación entre la cohesión y la relación de velocidades de onda propuesta en este documento (Gráfico 3) muestra que los datos tienen una correlación fuerte. Sin embargo, al ser la cohesión mucho más sensible a las condiciones de humedad del terreno se considera que su uso puede ser limitado (Aristizabal & Mendoza, 2017).



Fuente: Propia

**Figura 22:** Correlación entre la velocidad de honda vs rotura a compresión  
**Fuente:** (Aristizabal & Mendoza, 2017)

$$q_u = 2,1834 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^{-1,926}$$

La correlación entre la resistencia a la compresión y la relación de velocidades (Gráfico 4) muestra que la línea de tendencia potencial representa una correlación fuerte entre los datos ya que el coeficiente de correlación es 0,82 (Aristizabal & Mendoza, 2017).

### 2.2.3.7. Conclusiones

Los suelos derivados de ceniza volcánica ( $Q_{cp}$ ) constituyen la formación superficial dominante del municipio de Manizales (45% del área urbana) por lo que gran parte de los fenómenos de inestabilidad estarán asociados a este tipo de suelo, sin embargo, aun no se tiene un conocimiento detallado de estos depósitos desde el punto de vista geotécnico ya que por su origen presentan un comportamiento particular difiriendo del comportamiento

típico de los depósitos sedimentarios; adicionalmente los depósitos de ceniza de la ciudad se presentan con una serie de capas intercaladas tales como limos arenosos, lapilli y arena con diversos grados de consolidación, de ahí que otro proyecto investigativo abre la puerta para caracterizar de forma detallada estas capas y así particularizar las propiedades geotécnicas de estos materiales (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Los resultados de laboratorio de las propiedades mecánicas de los suelos derivados de ceniza volcánica muestran un amplio rango de variación donde los diferentes sets tienen un comportamiento específico, es por eso que durante las evaluaciones estadísticas algunos datos mostraban una dispersión considerable. De otro lado durante la revisión de los datos de campo tomados de las pruebas geofísicas se considera que la falta de rigurosidad técnica en la realización de este tipo de ensayos puede conllevar a la aparición de datos no representativos de los estratos, de manera que la implementación de medidas encaminadas al control de calidad en estos ensayos contribuirá a la confiabilidad de las correlaciones propuestas en este documento (Aristizabal & Mendoza, 2017).

A partir de los valores de velocidad de onda obtenidos en los ensayos geofísicos ( $V_s \approx 187$  m/s) se clasifican los depósitos de ceniza volcánica como suelo tipo D (MINAMBIENTE, 2010). Adicionalmente los valores de resistencia a la compresión encontrados para este tipo de depósitos ( $0,2 \text{ kg/cm}^2 - 3,45 \text{ kg/cm}^2$ ) corroboran la clasificación. En la evaluación estadística la prueba de bondad indica la confiabilidad de los datos encontrados, además la distribución de frecuencia que mejor se ajusta a los parámetros geotécnicos estudiados en este documento corresponde la distribución log-normal, a su vez las correlaciones establecidas en esta investigación presentan valores satisfactorios desde el punto de vista estadístico, ya que los coeficientes de correlación son superiores a 0,82; más aún si se comparan con los detectados en la revisión bibliográfica a nivel mundial donde las curvas de correlación muestran una tendencia similar y en lo que tiene que ver con los coeficientes de correlación poseen valores incluso menores (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Cabe resaltar de manera particular la correlación de  $V_p/V_s$  vs  $\phi$ , cuya línea de tendencia es muy similar a la obtenida por Álvarez y otros (Alvarez Manilla Aceves et al., 2003) en Querétaro. De otro lado en este documento se proponen correlaciones novedosas cuya aplicabilidad queda a juicio de otros investigadores. Para la ciudad de Manizales los resultados obtenidos pueden ser de utilidad en la evaluación rápida de estabilidad de taludes y estructuras de contención, ya que durante los periodos de lluvia prolongados y especialmente los asociados al fenómeno de la Niña se presentan, en poco tiempo, múltiples eventos de fenómenos de inestabilidad que superan la capacidad de respuesta en lo que tiene que ver con toma de muestras, ensayos y análisis de resultados, por lo cual con este tipo de estudios se podrían obtener los parámetros de resistencia de manera ágil y atender los múltiples eventos teniendo tiempos de respuesta muy cortos que redundarían en la mitigación rápida y efectiva de fenómenos de inestabilidad (Aristizabal & Mendoza, 2017).

También pueden ser empleados para la evaluación preliminar de susceptibilidad y amenaza por deslizamiento de zonas urbanas y rurales ya que las líneas de refracción cubren un área mayor y generan una imagen bidimensional de las unidades estudiadas facilitando la obtención de los parámetros de resistencia del suelo y su ubicación espacial en la zona analizada, por consiguiente identificar con prontitud zonas potencialmente inestables que luego deberán ser estudiadas con mayor profundidad.

Como lo sugiere UNIANDES CIMOC en su estudio de microzonificación de la ciudad (Universidad de los Andes, 2001) este tipo de estudios novedosos enriquece la cultura geotécnica de la región. Adicionalmente, una vez hecha la revisión exhaustiva del estado del arte a nivel mundial respecto a este tipo de correlaciones, los autores coinciden que estas deben hacerse en cada tipo de suelo ya que su origen geológico y su evolución morfológica o de meteorización generan condiciones especiales en cada región, por lo que esta investigación acoge y comparte totalmente dichas premisas (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Un factor determinante y que se debe tener en cuenta al emplear las correlaciones propuestas es que en los lugares donde se detecte nivel freático muy superficial que sature las capas de suelo volcánico tipo ceniza, los resultados de velocidad de onda pueden verse altamente distorsionados como lo sugiere la literatura y lo encontrado en campo por lo que su aplicación no sería la más adecuada (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Este trabajo investigativo no pretende suplir la prospección geotécnica ni los ensayos de laboratorio convencionales en el análisis de estabilidad de taludes ni de estructuras de contención, se concibe como una herramienta de soporte, por ejemplo, en el caso de evaluación de amenaza por deslizamiento donde generalmente las zonas de estudio son de gran extensión, resultando poco práctica la realización de gran cantidad de ensayos, de ahí que los ensayos geofísicos y estas correlaciones servirían para cubrir grandes extensiones y complementar los ensayos realizados homogeneizando el área de estudio (Aristizabal & Mendoza, 2017).

Para la construcción teórica de la tercera variable cenizas de bagazo de caña de azúcar, utilizamos la publicación de la revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, con el tema “La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros”, publicado el 30 de enero del año 2018 por los autores Nogueira Silva y Marden Torres de la Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, y también utilizaremos la publicación del Artículo CBC2019 , con el tema “Uso de la ceniza de bagazo de caña (CBC) como reemplazo parcial del cemento portland – caso Colombia” publicado en octubre del 2019, por el autor Manuel Alejandro Rojas Manzano, de la Pontificia Universidad Javeriana Cali – Colombia.

## **2.2.4. LA INFLUENCIA DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR**

### **2.2.4.1. INTRODUCCIÓN**

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar en el mundo y este producto juega un papel importante en la economía del país, especialmente en su región noreste. Este sector industrial es responsable por generar cerca de 3,6 millones de empleos directos e indirectos, además de ser económicamente significativo para el país en las relaciones comerciales nacionales e internacionales, las que representan 2,4% del producto interno bruto (PIB) (ALBINO et al, 2015). Estas cifras muestran la importancia del sector para la economía del país y aumentan la necesidad de realizar más investigaciones para permitir el uso racional de los residuos generados (Nogueira & Marden, 2018).

El residuo más atractivo de la industria de la caña de azúcar es su bagazo, el cual puede ser usado de diversas formas. Una de estas formas es la generación de energía eléctrica, un proceso que implica quemar el bagazo a altas temperaturas lo que produce una cantidad significativa de residuos a menudo denominados cenizas de bagazo de caña de azúcar. Este tipo de ceniza también es generado en pizzerías que usan el bagazo como sustituto de la madera en sus hornos. Investigaciones recientes indican que el principal compuesto químico de tales cenizas es el SiO<sub>2</sub> que exhibe un gran potencial para ser usado como adición mineral en concretos o morteros, con objetivos puzolánicos (Nogueira & Marden, 2018).

El uso de materiales puzolánicos como sustitución parcial del cemento en morteros y concretos trae consigo varias ventajas y la más importante está relacionada con la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> ya que para obtener estos materiales la demanda de energía es menor en comparación a la energía que envuelve el proceso de producción del clinker. Además, diversas investigaciones sobre la producción de morteros y concretos usando cenizas de bagazo de caña de azúcar como un material suplementario con propiedades cementosas (MCS) ya han demostrado ser un procedimiento eficiente sin

pérdida de resistencia a compresión de las muestras probadas. Dentro de ese contexto, este documento discute sobre las posibilidades de usar cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) provenientes de una pizzería como sustitución parcial del Cemento Portland para producir morteros usados en diversas aplicaciones en la industria de la construcción (Nogueira & Marden, 2018).

#### **2.2.4.2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

##### **2.2.4.2.1. Materiales**

Se usó un cemento Portland de alta resistencia inicial, padrón brasileño CPV ARI similar al cemento tipo III de la ASTM, con masa específica 3,17 g/cm<sup>3</sup> y área específica 8924 cm<sup>2</sup> /g de acuerdo con la norma NBR NM 16372 y la ASTM C231/C231M – 17a (2003). Se utilizaron dos tipos de bagazo de caña: un proveniente de la industria de caña de azúcar (CBCA-Ind) y el otro procedente de una pizzería que usa el bagazo en sustitución de la madera en sus hornos (CBCA-Piz) (Nogueira & Marden, 2018).

Las cenizas del bagazo de caña de azúcar se obtienen a temperaturas de 400 0 C en la pizzería y a 500 0 C en la industria. De acuerdo con Ribeiro (2012) y Cordeiro (2009), la mayor temperatura para quemar el bagazo de caña de azúcar es 600 0 C, bajo combustión controlada. Es importante destacar que las cenizas colectadas permanecieron en su forma natural sin ser sometidas a ningún tipo de tratamiento térmico. La CBCA-Ind fue colectada de un productor de azúcar y alcohol local del estado de Pernambuco en el noroeste de Brasil y la CBCA-Piz fue colectada en una pizzería de la región metropolitana de la ciudad de Recife del estado de Pernambuco que usa bloques de bagazo prensados en lugar de la madera en sus hornos (Nogueira & Marden, 2018).

Las muestras de cenizas usadas en este trabajo se secaron a través de un proceso de tamizado durante 20 minutos a una velocidad de 70 rpm para obtener una fracción que pasa a través de la abertura del tamiz de 0,075 mm. De acuerdo con las normas NBR NM 23 (2001) y la ASTM D1298-12b (2017) la masa específica y área específica de ambas

cenizas pulverizadas son: 2.37 g/cm<sup>3</sup> y 6539 cm<sup>2</sup> /g, para la ceniza CBCA-Ind y 2.72 g/cm<sup>3</sup> y 6550 cm<sup>2</sup> /g para la CBCA-Piz, respectivamente.

Los ensayos utilizados para evaluar la actividad puzolánica mostraron que los dos tipos de CBCA estudiadas tienen potencial para ser aplicadas como adición puzolánica. Los resultados obtenidos también fueron observados por Nunes (2009), Cordeiro (2009) y Frias (2007). La composición química de las cenizas de bagazo y del Cemento Portland se muestran en la Tabla 1. La cristalografía en el difractograma se muestra en la Figura 1 y la Figura 2. Estos valores característicos de SiO<sub>2</sub> con picos con ángulos de 26,5º grados también fueron descritos por Ribeiro (2014). Ambos tipos de cenizas están compuestas principalmente por material amorfo

#### **2.2.4.2.2. Diseño de la mezcla**

Para determinar la cantidad óptima de cenizas y substituir parcialmente el cemento fueron producidas seis mezclas diferentes con cada ceniza, además de la mezcla de referencia (REF): CBCA procedente de la pizzería (CBCA-Piz-5%, CBCA-Piz-10%, CBCA-Piz-15%, CBCA-Piz-20%, CBCA-Piz-25% y CBCA-Piz-30%) y CBCA procedente de la industria de caña de azúcar (CBCA-Ind-5%, CBCA-Ind-10%, CBCA-Ind-15%, CBCA-Ind-20%, CBCA-Ind-25% y CBCA-Ind-30%). Para evaluar la resistencia a compresión a los 28 días fueron preparadas seis muestras con cada mezcla. La Tabla 2 resume la dosificación de cada una de las mezclas usadas (Nogueira & Marden, 2018).

<b>CBCA (%)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Agua (ml)</b>	<b>CBCA (g)</b>
0	624,00	1.872	300	-
5	592,80	1.872	300	31,2
10	561,60	1.872	300	62,4
15	530,40	1.872	300	93,6
20	499,20	1.872	300	124,80
25	468,00	1.872	300	156,00
30	436,80	1.872	300	187,20

**Figura 23:** Valores de porcentajes de las muestras.  
**Fuente:** (Nogueira & Marden, 2018)

### 2.2.4.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión desarrollado en cuerpos de prueba cilíndricos con 50 mm de diámetro y 100 mm de altura. El ensayo se hizo con base en las normativas NBR 5739 (2007) y ASTM E9-89 00 (2000).

<b>ID</b>	<b>REF</b>	<b>CBCA -Piz (5%)</b>	<b>CBCA-Piz (10%)</b>	<b>CBCA-Piz (15%)</b>	<b>CBCA-Piz (20%)</b>	<b>CBCA-Piz (25%)</b>	<b>CBCA-Piz (30%)</b>
1	20,3	23,0	18,4	29,7	14,7	22,0	14,2
2	30,7	27,7	19,2	29,9	23,2	23,2	19,6
3	31,3	22,4	20,6	31,2	24,7	23,5	22,7
4	31,6	32,0	21,8	31,4	26,4	24,7	23,5
5	32,2	34,1	22,1	33,2	27,2	27,8	24,0
6	32,4	35,5	30,1	35,4	31,7	28,8	25,4
<b>Media</b>	<b>29,8</b>	<b>29,1</b>	<b>22,0</b>	<b>31,8</b>	<b>24,7</b>	<b>25,0</b>	<b>21,6</b>
<b>DS (MPa)</b>	<b>4,7</b>	<b>5,6</b>	<b>4,2</b>	<b>2,2</b>	<b>5,7</b>	<b>2,7</b>	<b>4,1</b>
<b>COV (%)</b>	<b>15,7</b>	<b>19,3</b>	<b>19,1</b>	<b>6,8</b>	<b>23,0</b>	<b>10,9</b>	<b>19,0</b>

**Figura 24:** Resistencia a la compresión  
**Fuente:** (Nogueira & Marden, 2018)

ID	REF	CBCA-Ind (5%)	CBCA-Ind (10%)	CBCA-Ind (15%)	CBCA-Ind (20%)	CBCA-Ind (25%)	CBCA-Ind (30%)
1	20,3	14,8	24,9	34,8	26,9	25,7	22,5
2	30,7	28,8	25,4	35,1	28,6	26,0	23,0
3	31,3	29,3	29,1	35,5	29,0	26,8	23,5
4	31,6	36,6	37,0	35,8	29,7	26,9	24,7
5	32,2	38,4	37,5	36,1	30,5	27,1	24,9
6	32,4	39,5	38,9	36,3	30,7	27,4	25,3
<b>Media</b>	<b>29,8</b>	<b>31,2</b>	<b>32,1</b>	<b>35,6</b>	<b>29,2</b>	<b>26,7</b>	<b>24,0</b>
<b>DS (MPa)</b>	<b>4,7</b>	<b>9,2</b>	<b>6,4</b>	<b>0,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>
<b>COV (%)</b>	<b>15,7</b>	<b>29,6</b>	<b>19,9</b>	<b>1,6</b>	<b>4,8</b>	<b>2,5</b>	<b>4,8</b>

**Figura 25:** Resistencia a la compresión  
**Fuente:** (Nogueira & Marden, 2018)

Finalmente, analizando los resultados presentados, la ceniza de bagazo de caña de azúcar procedente de la industria mostro un mejor comportamiento con un coeficiente de variación pequeño: 1,6 %. La sustitución de más del 15% del cemento por ceniza provocó una disminución de la resistencia a compresión en los morteros estudiados.

Después de seleccionar la cantidad óptima de ceniza de bagazo de caña de azúcar para substituir parcialmente el cemento, nuevas muestras fueron producidas con el objetivo de determinar la resistencia a compresión a los 28, 63 y 91 días de edad. La mezcla de mortero de referencia se diseñó para exhibir una resistencia a la compresión promedio de 40 MPa a los 28 días. Los valores de dispersión y resistencia a compresión promedio están presentados en la Tabla (Nogueira & Marden, 2018).

Mezcla	Edad (días)	Resistencia a compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Referencia	28	40,110	1,402	3,496
	63	41,699	1,919	4,603
	91	43,829	1,716	3,914
CBCA-Piz-15%	28	40,126	1,804	4,496
	63	42,678	1,820	4,265
	91	44,128	0,612	1,405
CBCA-Ind-15%	28	39,686	0,853	2,150
	63	41,179	1,446	3,511
	91	43,201	0,869	2,012

**Figura 26:** Resistencia a la compresión  
**Fuente:** (Nogueira & Marden, 2018)

Los parámetros estadísticos y coeficientes de variación obtenidos confirman que la resistencia a compresión aumentó de forma constante con el avance de la edad en todas las mezclas estudiadas. El coeficiente de variación resultó ser menor de 5% en todos los casos, esto demuestra que los procedimientos para controlar los procesos de preparación, moldaje y ensayos de las muestras fueron efectivos (Nogueira & Marden, 2018).

Los resultados obtenidos muestran que los morteros producidos con substitución parcial de la masa de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar procedente de la pizzería y de la industria, mostraron un buen desempeño en términos de resistencia a compresión en todas las edades estudiadas. Esto es especialmente importante cuando se considera que las mezclas de mortero producidas con cenizas tenían un contenido de cemento menor que las preparadas usando solo cemento como agente aglomerante.

Lo que significa que ambas cenizas estudiadas se comportaron como aglomerante y como material puzolánico. De hecho, el aumento de la resistencia a compresión a los 91 días fue de aproximadamente 8% en los morteros producidos con cenizas de bagazo de caña de azúcar, mientras que en los morteros producidos sin substitución parcial del cemento el aumento fue solo del 5%, a la misma edad (Nogueira & Marden, 2018).

Estos resultados alientan el uso de cenizas de bagazo de caña de azúcar como substitución parcial del cemento en diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil,

con la ventaja adicional de producir dos efectos secundarios importantes y beneficiosos: (a) reducir el impacto medio ambiental que este residuo agroindustrial provoca en la naturaleza cuando es despejado y (b) disminuir el consumo de cemento y en consecuencia reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de material cementoso. Con el objetivo de evaluar la resistencia a tracción de los morteros estudiados, se desarrollaron ensayos de tracción por flexión (Ensayo brasileño de Lobo Carneiro) en las mismas edades en las que fue hecho el ensayo de resistencia a compresión. Los resultados se muestran en la Tabla (Nogueira & Marden, 2018).

Mezcla	Edad (días)	Resistencia a tracción promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Referencia	28	4,460	0,885	19,85
	63	4,082	0,103	2,52
	91	4,400	0,228	5,18
CBCA-Piz-15%	28	4,346	0,342	7,86
	63	4,034	0,083	2,06
	91	4,421	0,126	3,86
CBCA-Ind-15%	28	4,409	0,281	6,38
	63	4,067	0,154	3,80
	91	4,500	0,282	6,50

**Figura 27:** Resistencia a la tracción  
**Fuente:** (Nogueira & Marden, 2018)

Como puede observarse, la resistencia a tracción de los morteros producidos con cenizas de bagazo de caña de azúcar es semejante a la resistencia a tracción del mortero de referencia, en todas las edades. Esto significa que el uso de estas cenizas no provoca ningún efecto indeseable en la resistencia a tracción de los morteros (Nogueira & Marden, 2018).

### **2.2.4.3. Conclusiones**

Con base en los procedimientos y equipos adoptados en esta investigación para evaluar la resistencia a compresión y resistencia a tracción del mortero, se verificó que substituir 15% de la masa de cemento por CBCA procedente de la pizzería y de la industria de azúcar de caña genera un efecto aglutinante y puzolánico en los morteros. El aumento de la resistencia a compresión a los 91 días fue de aproximadamente 8% para los morteros hechos con cenizas de bagazo de caña de azúcar, mientras que en los morteros sin sustitución parcial de la masa de cemento fue solo de un 5%, a la misma edad (Nogueira & Marden, 2018).

No se observó ningún efecto perjudicial en la resistencia a tracción de los morteros hechos con cenizas de bagazo de caña de azúcar. Adicionalmente, los morteros con sustitución del 30% de la masa de cemento mostraron un comportamiento pésimo en todos los ensayos de resistencia mecánica.

La composición química de las cenizas, una gran superficie específica y alto grado de comportamiento amorfo explican ese comportamiento. Estos resultados alientan el uso de cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento en diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, con la ventaja adicional de producir dos efectos secundarios importantes y beneficiosos: (a) reducir el impacto medio ambiental que este residuo agroindustrial provoca en la naturaleza cuando es despejado y (b) disminuir el consumo de cemento y en consecuencia reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento producido (Nogueira & Marden, 2018).

#### **2.2.4.3.1. Caracterización de la Ceniza del Bagazo de Caña**

La CBC en la actualidad es poco utilizada, pues en algunos países como en Colombia, puede ser considerada como un desecho. En Brasil, se han venido desarrollando e implementando, diferentes usos para este material, pues el área sembrada según la agencia EFE (2016) supera los nueve millones de hectáreas, generando consigo una generación

considerable de residuos de la industria. En la Figura se puede observar el bagazo de la caña y la CBC obtenida después del proceso de incineración (Rojas M. , 2019).



**Figura 28:** Ceniza de bagazo  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

#### **2.2.4.3.2. Propiedades Físicas**

Cordeiro (2009) en su estudio encontró los siguientes valores representativos para la CBC evaluada: densidad de 2,530 kg/m<sup>3</sup> , superficie específica Blaine 196 m<sup>2</sup> /kg, diámetro promedio de partícula (D50) de 76.3 μm y porcentaje pasa por el tamiz 45 μm de 67.4%. Otros autores como Zareei et al. (2018) también caracterizaron dicho material encontrando los siguientes resultados: densidad 1,510 kg/m<sup>3</sup> , superficie específica Blaine 260 m<sup>2</sup> /kg, módulo de finura 1.04 y absorción de 0.8% (Rojas M. , 2019).

#### **2.2.4.3.3. Propiedades Químicas**

De acuerdo con varios estudios, la ceniza se produce a una temperatura entre los 700 y 900°C. Según lo encontrado por Cordeiro (2009), se puede notar que el porcentaje de sílice en la muestra es del 78.3% y al compararse con las investigaciones realizadas recientemente por la Universidad Nacional de Colombia (2012), Ali et al. (2017) y Vidal

et al. (2012), entre otros, se encuentra que estos datos oscilan entre 60% y 70%. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de la composición química de la CBC realizada por diferentes autores.

<b>Composición Química</b>	<b>Vidal et al. (2012)</b>	<b>Ali (2017)</b>	<b>Giraldo (2012)</b>	<b>Cordeiro (2009)</b>
SiO <sub>2</sub>	67.05%	72.00%	60.07%	78.34%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.00%	4.98%	8.7%	8.55%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.55%	2.96%	5.57%	3.61%
CaO	3.85%	6.50%	3.4%	2.15%
MgO	2.75%	1.98%	2.90%	1.65%
K <sub>2</sub> O	3.85%	1.93%	4.5%	3.46%
Na <sub>2</sub> O	1.05%	0.61%	1.17%	0.12%
So <sub>3</sub>	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0.13%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	1.07%
Pérdidas por ignición	7.35%	-	4.37%	0.42%
Tamaño de partícula (µm)	60.50	-	-	-

**Figura 29:** Propiedades químicas de la ceniza de bagazo  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Como se puede observar en la Tabla, la CBC posee un alto contenido de sílice, trascendental para que puede clasificarse como una adición puzolánica, por lo que tendrá un efecto positivo en las propiedades mecánicas y asociadas a la durabilidad del concreto. Cabe aclarar que existe una variación en la composición presentada entre los autores, esto puede ser debido a diferentes factores como el tipo de caña, la zona geográfica en la que se encuentre, las variaciones del clima, la existencia o no de un proceso de quema controlada, la temperatura de incineración, entre otras

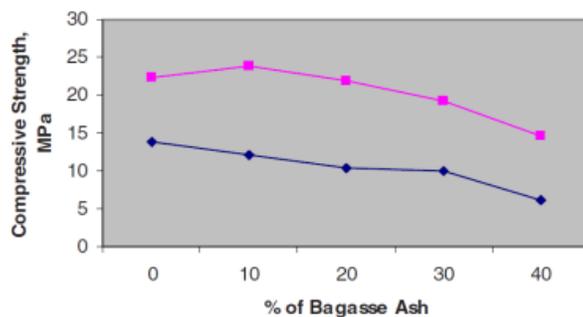
#### **2.2.4.3.4. Usos de la ceniza de bagazo de caña (CBC) en la Construcción**

Diversas investigaciones se han desarrollado para viabilizar el uso de la CBC en actividades referentes a la construcción. Faria, Gurgel y Holanda (2012), sugieren que la ceniza de bagazo de caña puede ser utilizada en ladrillos de arcilla, pues concluyen en su trabajo que es un material rico en sílice, el cual se cristaliza y ayuda a reducir la plasticidad de la mezcla arcillosa, siempre y cuando se garantiza máximo un 10% de remplazo. Cabe indicar que según la revisión del estado del arte se determinó que el uso de la CBC tiene

gran potencial cuando se aplica en materiales a base de cemento. Principalmente, como agregado y como reemplazo o adición al cemento (Rojas M. , 2019).

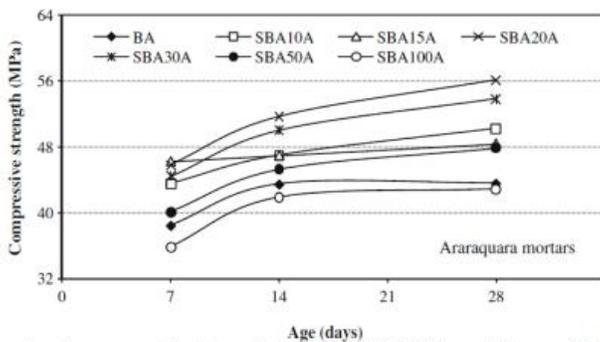
#### 2.2.4.3.5. Como Agregado Fino

Algunos estudios fueron realizados para viabilizar el uso de la CBC como reemplazo parcial del agregado fino. Sin embargo, como lo indica Giraldo (2012) debido a sus características químicas y sus altos contenidos de sílice y alúmina, tiene un uso muy amplio como reemplazo parcial del cemento Portland. Modani y Vyawahare (2013) investigaron el posible uso de la CBC como reemplazo del agregado fino, encontrando que con un porcentaje de reemplazo de entre 10% y 20% la resistencia a los 28 días aumenta sin afectar la trabajabilidad, como se muestra en la Figura 4. Al mismo tiempo, analizan que este aumento puede ser debido a la reacción puzolánica. Por su parte concluyen que reemplazos superiores al 30% incrementan la porosidad el concreto.



**Figura 30:** Resistencia a la compresión  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Sales y Araujo (2010) evaluaron diferentes tipos de CBC como sustitución del agregado fino en concretos y morteros. Los resultados de este estudio indicaron que las muestras de ceniza presentaban propiedades físicas similares a las de la arena natural. Los morteros producidos con CBC en lugar de arena mostraron mejores resultados en las propiedades mecánicas que las muestras de referencia, como se puede observar



**Figura 31.** Resistencia a la compresión de mortero  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Macedo et al. (2014) determinaron que el uso de la ceniza como remplazo parcial del agregado fino en morteros es positiva, pues aumenta la resistencia de estos. Concluyen que, debido al efecto físico de mayor empaquetamiento promovido por el tamaño de partículas, se disminuye el tamaño de los poros, evitando así el ingreso de agentes agresivos (Rojas M. , 2019).

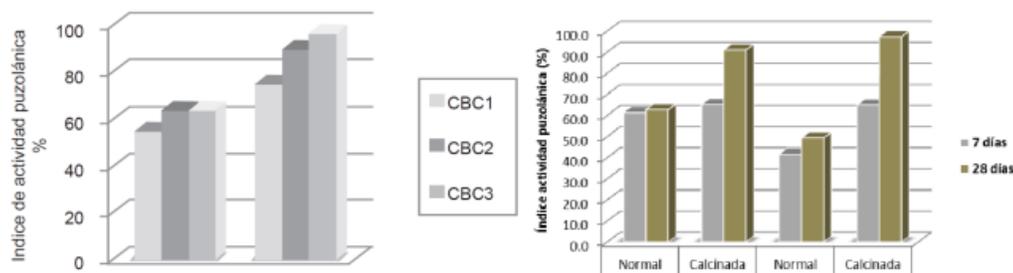
#### 2.2.4.3.6. Como remplazo de Cemento

Debido a la alta presencia de sílice y el grado de reacción puzolánica que posee la ceniza de bagazo de caña cuando es finamente molida, su uso como adición puzolánica para el cemento Portland ha venido en aumento, siendo una adición mineral muy útil para zonas productoras como Brasil y Colombia. Varios autores han investigado el comportamiento de los concretos con esta clase de puzolana, tanto en estado fresco como en endurecido y además en varios ámbitos, no solo como concreto sino como mortero y adoquín para pavimento. Ali et al. (2017) encontraron que el uso de la CBC es viable pues mejora las propiedades físicas y mecánicas del material cementicio, debido a los posibles efectos que tiene por sus componentes químicos.

También determinaron que el porcentaje de remplazo ideal es del 5%. Además, concluyen que la utilización de este material no es solo una estrategia para la disminución de desperdicios, sino una opción viable para realizar concretos verdes y construcciones

sostenibles. Los distintos estudios que se han realizado cuentan con múltiples variables como el tipo de cemento a utilizar, la relación agua/cemento, el porcentaje de remplazo del cemento, el tipo de agregado, entre otros.

Sin embargo, para evaluar la efectividad de la CBC como adición mineral del cemento Portland es fundamental analizar la actividad puzolánica, varios autores coinciden en que, a los 28 días, este parámetro debe estar por encima del mínimo que dictamina la ASTM C618 que es del 75%, estando entre los valores de 90% y 100%, como se presenta en la Figuras (Rojas M. , 2019).



**Figura 32:** Actividad de la puzolana  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Vidal et al. (2012) investigaron la actividad puzolánica de este residuo encontrando que fue superior al 91%, pero al mismo tiempo sugiere que se debe hacer un estudio detallado de la cantidad necesaria para que el concreto se desempeñe de la mejor manera a largo plazo. Cordeiro (2009) analizó el comportamiento puzolánico de la CBC, uno de los resultados más importantes de su investigación, es que la reacción puzolánica aumenta a medida que el tamaño de partícula disminuye. Mansaneira et al. (2017) evaluaron dos tipos de CBC como reemplazo de cemento, una natural o cruda, y otra producida en laboratorio (calcinada a una temperatura de 600oC durante 6 horas). Encontraron que la ceniza calcinada posee mayor fase amorfa y, por lo tanto, mayor reactividad.

Concluyen que independiente del tipo de ceniza, tiene que efectuarse previamente un proceso de molienda para promover la reacción puzolánica, Evaluaron el uso de la CBC

en la producción de concretos de ultraalto desempeño (UHPC) y determinaron que para una óptima reacción puzolánica se debe hacer un curado térmico con vapor, además de que al adicionar la ceniza se aumenta la velocidad de las reacciones de hidratación, por lo tanto, se alcanza una resistencia a la compresión mayor en menor tiempo. Caicedo (2016) en su trabajo, sugiere que la utilización de la CBC como adición mineral en concretos disminuye los costos de producción, lo que implicaría así un nuevo modelo económico para las distintas industrias. En el estudio realizado, se encontraron altos porcentajes de actividad puzolánica para las distintas muestras (Rojas M. , 2019).

#### 2.2.4.3.7. Efecto en las propiedades en Estado Fresco

Según Cordeiro (2009) uno de los principales efectos de la CBC es que mejora la reología del concreto en estado fresco. Ali et al. (2017) estudiaron el efecto del reemplazo de CBC en el concreto, en la Figura 7 se presentan los resultados en estado fresco en función del contenido de ceniza (0%, 5% y 10%) con dos dosificaciones distintas

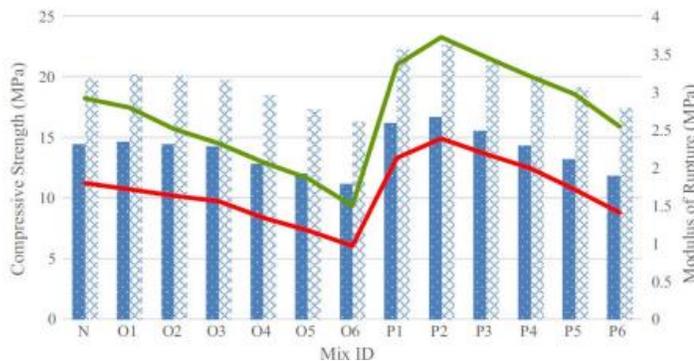
Sr.No.	Mix Proportion	OPC % Replacement with SCBA	Average slump value (mm)	Increase
1	M20 (1:1 ½:3)	0%	27.89	-
2		5%	42.50	34%
3		10%	51.12	45%
4	M15 (1:2:4)	0%	31.94	-
5		5%	37.48	15%
6		10%	44.64	28%

**Figura 33:** Resultado de los ensayos  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Como se muestra en la figura, las propiedades en estado fresco se ven modificadas a medida que se adiciona la CBC, pues se ve un aumento en su trabajabilidad, lo que quiere decir que, tan solo al hacer el remplazo ya se esta mejorando esta propiedad que es importante para la colocación correcta del concreto en obra. Bahurudeen et al. (2014) estudiaron la compatibilidad de aditivos superplastificantes con cementos con reemplazo de CBC por medio de ensayos como el cono march y el minislump.

Concluyen que la dosis de saturación del superplastificante se incrementó con el aumento del reemplazo de ceniza. Así mismo, el superplastificante a base de éter policarboxílico es más compatible con el cemento mezclado que el de base de naftaleno sulfonado.

#### 2.2.4.3.8. Efecto en las Propiedades Mecánicas del Concreto.



**Figura 34:** Modulo de rotura y resistencia a la compresión  
**Fuente:** (Rojas M. , 2019)

Otra aplicación de la CBC es en concretos de alta resistencia, los investigadores Rukzon y Chindaprasirt (2012) evaluaron reemplazos de hasta el 30%. Concluyen que el contenido óptimo, que produjo el mayor incremento de la resistencia a la compresión, fue el 10%. Por último, también Rajasekar et al. (2018) estudiaron el uso de la CBC como adición puzolánica en concretos de ultra-desempeño (UHPC). Determinaron que es posible fabricar concretos hasta de 310 MPa de resistencia a la compresión con un reemplazo de 15% de ceniza, valor superior a la mezcla de referencia sin CBC (Rojas M. , 2019).

#### **2.2.4.3.9. Efecto en la Durabilidad del Concreto**

La durabilidad del concreto es una propiedad que está íntimamente asociada con el ingreso de agentes agresivos y, por lo tanto, con la porosidad y la permeabilidad del material. De acuerdo con Cordeiro (2009), el uso de la CBC incrementa la resistencia a la penetración de iones de cloruro. Valencia et al. (2012) estudiaron la corrosión en morteros armados con CBC. Concluyen que hubo un mejor desempeño cuando se usó la ceniza y que depende tanto de su composición, como de su morfología y tamaño de partícula. Rerkpiboon et al. (2015) evaluaron las propiedades asociadas a durabilidad en concretos con reemplazos hasta del 50% de CBC. Los autores encontraron que la incorporación de la ceniza causó una disminución en la profundidad de penetración de iones cloruro en el concreto. Lo anterior, demuestra el efecto positivo en la durabilidad del uso de la CBC en el concreto (Rojas M. , 2019).

#### **2.2.4.3.10. Uso de la CBC para la construcción en Colombia**

Hasta el momento en Colombia, el uso de la CBC como adición parcial del cemento Portland posee pocas investigaciones, las más reconocidas se han realizado en el departamento del Valle del Cauca debido a que es la región en donde más se produce el azúcar a base de caña. El uso de la CBC como adición del cemento Portland para la fabricación de adoquines para pavimentos fue estudiado por Caicedo (2016).

Esta investigación se encontró que el uso de este material ayuda a que la resistencia del concreto aumente superando incluso las resistencias de un concreto tradicional. Adicionalmente, se detalla en el proyecto el análisis de precios unitarios (APU) para la fabricación de estos y su viabilidad.

Este estudio se realizó para la construcción de una de las estaciones del sistema integrado de transporte masivo MIO y en conclusión es una metodología constructiva, ecológica y viable para una región productora. Otra investigación fue realizada por Giraldo et al. (2012), sobre la ceniza como adición mineral para el cemento Portland con el objetivo de fabricar elementos de construcción. En este trabajo se realizó la

caracterización química y física, demostrando la reacción puzolánica a los 28 días, lo cual apoya las investigaciones de otros autores en el tema.

La utilización de la ceniza de bagazo de caña en morteros ha sido un tema de estudio para profesionales de las universidades de la región. Caicedo y Henao (2015), encontraron en su investigación, que los morteros con adiciones de ceniza de bagazo de caña aumentan su resistencia a los 56 días entre 2.5% y 5.0%, además la resistencia a flexión aumenta significativamente en aproximadamente 40%. Por su parte, concluyen que las disminuciones en emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen sustancialmente si se empieza a utilizar este tipo de desechos industriales (Rojas M. , 2019).

La producción de caña de azúcar en Colombia va en aumento, generando mayor cantidad de desperdicios de industria; países como Brasil, han empezado a implementar el uso de la ceniza de bagazo de caña en el cemento, encontrando en ello una solución a la disposición final de estos residuos. Según la caracterización química de la CBC, esta posee un alto contenido de sílice, en promedio 70%. Otro parámetro importante es el tamaño de partícula, por lo que se hace necesario un proceso previo de molienda.

Lo anterior, hacen que este material tenga una elevada actividad puzolánica a los 28 días (cercana al 100%), lo que viabiliza su uso en la construcción como adición mineral para el cemento Portland, ya sea en concretos de resistencia normal o de mayores prestaciones. Las propiedades en estado fresco de los concretos con adición de CBC, se ven mejoradas por esta incorporación, aumentando la fluidez del concreto, haciéndolo más trabajable.

Se comprobó una mejora en las propiedades en estado endurecido del material cementicio, tanto mecánicas como de durabilidad, debido a la disminución de la porosidad promovida por la reacción puzolánica, aumentando la resistencia a distintos tipos de esfuerzos y el desempeño al ataque de agentes agresivos. En Colombia, la investigación sobre este tipo de adiciones puzolánicas es deficiente. Debido a la importancia de este material para la industria azucarera, es primordial que se generen proyectos de investigación que busquen viabilizar el uso seguro y confiable de este subproducto. La posible utilización de la CBC como material de construcción significaría un impacto económico positivo para regiones productoras como el Valle del Cauca.

El uso de materiales cementantes alternativos conlleva una disminución del impacto ambiental, principalmente, porque se reduciría la extracción de recursos naturales no renovables y la emisión de gases efecto invernadero, así como se aprovecharía un desecho industrial reincorporándolo al ciclo y evitando su disposición final en rellenos sanitarios y la contaminación del suelo o del recurso hídrico (Rojas M. , 2019).

Para la construcción teórica de la cuarta variable hormigón asfáltico reciclado, utilizamos la publicación de la revista ciencia y construcción, con el tema “Propiedades de los áridos reciclados para mezclas asfálticas en caliente”, publicado el 01 de febrero del año 2021 por los autores Reyes Idanalsys y Acosta Debora del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”-CUJAE, y del artículo publicado por soluasfalt, con el tema “El asfalto verde; asfalto reciclado”, publicado en octubre del 2017 por el autor Ing. Jesús Alonso García, experto en asfalto de la empresa de asfalto de Madrid – España, y también se consideró el artículo con el tema, “Que es una recicladora de asfalto”, publicado en marzo del 2017 por el ing. Víctor Yepes Piqueras, de la Universidad Politécnica de Valencia - España

## **2.2.5. PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

### **2.2.5.1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad se conoce que la utilización indiscriminada de recursos naturales constituye una causa del deterioro paulatino y progresivo del medio ambiente”. Este comentario permite el acercamiento a la línea temática de este trabajo que se orienta hacia un correcto manejo de los desechos producidos por las actividades de construcción y demolición y reutilizarlos como árido en mezclas asfálticas en caliente (Acosta & Reyes, 2021).

El reciclado y reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) se ha extendido prácticamente a todos los países desarrollados en los últimos años, unidos a una

creciente concienciación ciudadana, respecto a la necesidad de ver la forma de reciclar los materiales que han cumplido o no su vida útil. Actualmente a nivel mundial y especialmente en Cuba se ha hecho inminente la reutilización de RCD debido al impacto negativo que estos ocasionan al medio ambiente (Acosta & Reyes, 2021).

En Cuba con el devenir de los años la política ambientalista ha tomado auge, y debido al desconocimiento o desentendimiento por parte de la población de la clasificación y utilización de materias primas se han creado vertederos. Para tal efecto, se plantea una línea de análisis, la del aprovechamiento de los residuos de demolición para incorporarlos como agregados en la realización de mezclas asfálticas de pavimentos flexibles, en donde se abordan soluciones a tres situaciones importantes, la primera es la desbordante cantidad de residuos producidos, seguido por la inadecuada disposición final que se les da; por último la afectación de montañas y otros entornos naturales arrasados, al ser usados como sitios de aprovechamiento de materiales (Acosta & Reyes, 2021).

Se ve la necesidad de investigar a fondo la utilización de los residuos de la construcción y demolición (RCD) ya sea en la fabricación de mezclas asfálticas o con cualquier otro fin constructivo; lo que conllevará a una disminución sin dudas del impacto ambiental negativo generado por estos desechos y que además mejorará las condiciones constructivas del país, facilitando el manejo de materiales. El uso de los RCD ha sido ampliamente estudiado en diversas áreas de la ingeniería civil y se ha comprobado su uso y buen comportamiento en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

Existen grandes ventajas para el empleo de los RCD sea como reemplazo parcial o total del agregado natural, fino o grueso, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones viejos, procedentes de diversas obras de infraestructura. Los áridos reciclados de hormigón (AR) difieren esencialmente de los áridos naturales (AN) debido a la capa de mortero que queda adherida en la superficie de estos debido al proceso de machaqueo y trituración, lo que trae consigo una disminución en la densidad de las mezclas asfálticas. La eficacia del AR es muy variable, al igual que su composición,

dependiendo de la fuente de obtención, del propio proceso de fabricación e incluso de las características de los áridos originales (Acosta & Reyes, 2021).

Debido a lo planteado anteriormente, las propiedades de las mezclas asfálticas con AR también van a variar en función del AR utilizado. Son muchos los razonamientos y resultados disímiles a los que investigadores han arribado, por lo cual este trabajo tiene como objetivo el análisis inicialmente de las características de los áridos reciclados y de su influencia en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente con AR para las condiciones de Cuba. Se analizan propiedades como peso específico, absorción, granulometría, equivalente de arena, y tamiz 200, además de realizar un análisis micro estructural del residuo y la determinación de sus componentes químicos y fases mineralógicas (Acosta & Reyes, 2021).

#### **2.2.5.2. DESARROLLO**

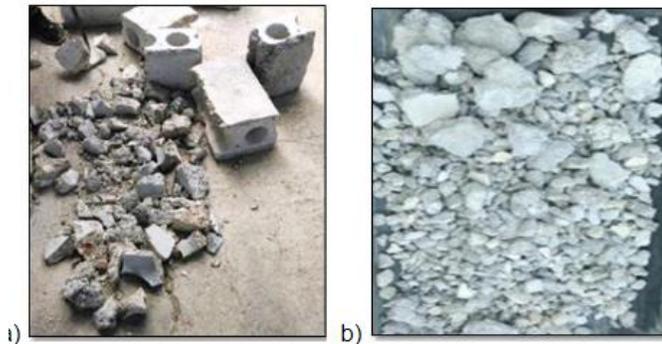
##### **2.2.5.2.1. Materiales a emplear**

Se analizaron los residuos provenientes de la planta de prefabricado de losas spirall José Martí ubicada en el municipio Boyeros. Se tomaron como referencia los áridos naturales procedentes de la cantera Alacranes

##### **2.2.5.2.2. Fuente de obtención de los áridos reciclados**

Los áridos reciclados que se emplearon en esta investigación provienen de los residuos de la planta de prefabricado “José Martí” ubicada en el municipio de Boyeros, la cual se especializa fundamentalmente en la construcción de losas spirall de 15 a 20 cm de espesor. Los residuos utilizados son de dos tipos, uno de las losas que no cumplen los requisitos necesarios y son desechadas o de pedazos de losas que se parten al ser transportadas desde el sitio de fabricación hasta el lugar de almacenaje y los otros son residuos de hormigón ya sea del material remanente que quedan en la hormigonera o del que se derrama en el proceso de hormigonado de las losas (material suelto).

Estos residuos presentan un alto grado de homogeneidad producto de su poca contaminación con otros tipos de desechos como aceros, madera, plásticos, etc. Pudiéndose definir como áridos provenientes de hormigón puro como se muestra a continuación en las figuras 1a y 1b (Acosta & Reyes, 2021).



**Figura 35:** Residuos de losa y hormigón asfáltico  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

### **2.2.5.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS**

#### **2.2.5.3.1. Caracterización microestructural, composición química y mineralógica del residuo utilizado**

Podemos observar la morfología del residuo utilizado, donde en una primera observación de 50x se pueden notar las caras de fractura del árido reciclado. Así mismo puede distinguirse (figura 2b) el mortero más poroso y rugoso adherido al árido natural, así como la interface de contacto entre estos dos materiales. En la tabla se observan los resultados obtenidos en la fluorescencia de rayos X, donde se muestra que el principal componente del residuo es el CaO (óxido de carbono) con un 39,09%, seguidamente en cantidad está el MgO (óxido de magnesio) con un 6,12%, SiO<sub>2</sub>(sílice) con un 5,98% y por último el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(alumina); el resto de los componentes se encuentran en proporciones inferiores al 1%: Na<sub>2</sub>O (óxido de sodio), SO<sub>3</sub>(trioxido de azufre), K<sub>2</sub>O (óxido de potasio) y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(óxido férrico) (Acosta & Reyes, 2021).

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Composición química (%)	0,26	6,12	1,38	5,98	0,5	0,22	39,09	0,76

**Figura 36:** Residuos de losa y hormigón asfáltico  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

Por tanto, a la vista de los resultados se puede concluir que: el AR es de naturaleza predominantemente caliza, con lo cual se espera que su adhesividad con el ligante sea buena, debido a que la cal es uno de los materiales utilizados mundialmente para el mejoramiento de las propiedades del asfalto. En la figura se muestra el Diagrama de rayos X (DRX) del AR utilizado. En la misma figura se muestran los porcentajes de cada una de las fases minerales determinadas mediante Rietveld. A partir del difractograma mostrado se aprecia que el principal componente de los residuos es la calcita con un 61,2%, mineral formado por carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>), compuesto primario de los hormigones cuyos áridos naturales son de origen calizo (Acosta & Reyes, 2021).

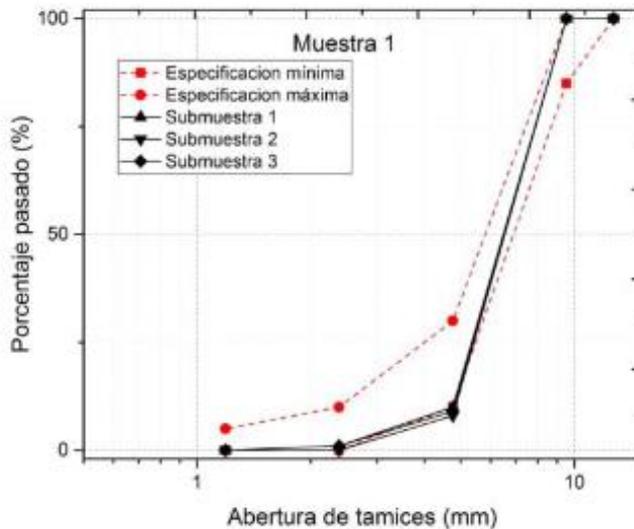
Otro mineral presente es la dolomita con un 38,8%, que es un mineral propio de áridos de origen calizo: Composición mineralógica del residuo Basados en los resultados presentados en la figura 3y en la tabla 1 se demuestra del residuo analizado tiene una composición química homogénea y que no presentan ningún tipo de contaminante.

### 2.2.5.3.2. Resultados de los ensayos de los áridos reciclados

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados a las muestras de áridos tomadas, cada una de estas fue dividida en sub-muestras para lograr la repetitividad y representatividad de los resultados de los ensayos. 3.2.1

### 2.2.5.3.3. Árido grueso

**Muestra 1:** árido procedente de material suelto tamizado entre 5 y 10mm.

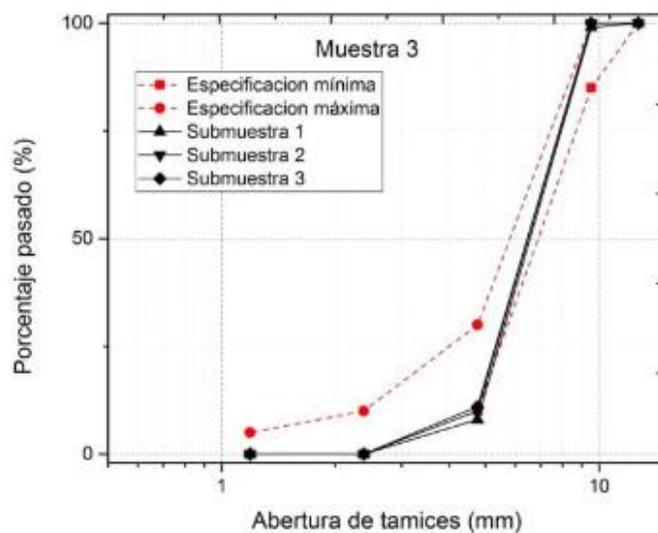


**Figura 37:** Curva granulométrica.  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la figura se observa que las sub-muestras 2 y 3 en el tamiz 4,76 presentan un porcentaje pasado inferior al que establece la norma de áridos naturales siendo esta diferencia muy pequeña. Se observa también que las tres muestras tienen granulometrías similares. En la tabla 2 se puede observar que el peso específico corriente de todas las sub-muestras analizadas está por debajo del valor mínimo establecido, así como el porcentaje de absorción, esto sucede debido al mortero adherido en la superficie del AR, el cual es un material poroso y de baja densidad y al ser sometido a una carga de desgaste este se desprende de la superficie del árido original (Acosta & Reyes, 2021).

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,21	2,22	2,23	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,37	2,37	2,39	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	2,62	2,66	--
Absorción (%)	7,19	6,94	7,36	0,8-2,0
PA (%)	6,4	4,7	7	10 (máx)

**Figura 38:** Áridos procedencia  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)



**Figura 39:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

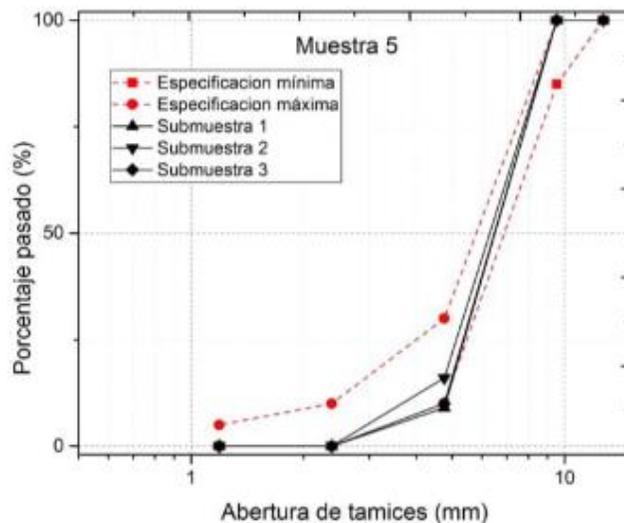
Como se puede ver en la figura solo la sub-muestra 1 tiene en tamiz 4,76 un porcentaje pasado menor que el mínimo especificado, la diferencia es de un 2% siendo un valor no significativo. Se puede ver además que las granulometrías son similares

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,37	2,34	2,34	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,48	2,45	2,45	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,67	2,64	2,64	--
Absorción (%)	4,75	4,81	4,79	0,8-2,0
PA (%)	10,7	7	7,6	10(máx)

**Figura 40:** Residuos de los ensayos

**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la tabla se puede observar que de igual forma el peso específico corriente de las tres sub-muestras están por debajo del valor mínimo establecido, así como el porcentaje de absorción es mayor que el planteado en la norma, lo que se debe al igual que en la muestra anterior al mortero adherido en la superficie del árido. Se debe agregar que en este caso el porcentaje de absorción es menor que el de la muestra 1 lo cual es debido al proceso de trituración al cual fue sometida esta muestra (Acosta & Reyes, 2021).



**Figura 41:** Curva granulométrica

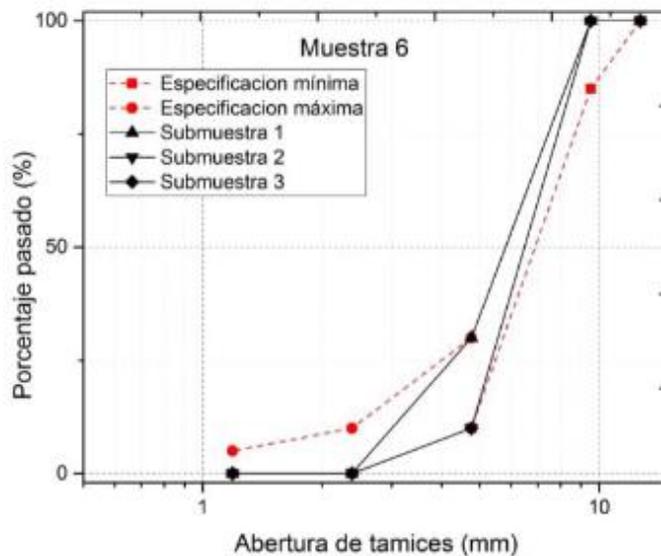
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

Dados los resultados de la figura se observa que la submuestra 1 en el tamiz 4,76 posee un porcentaje pasado menor en 1% que el límite inferior del huso granulométrico normado lo que no resulta muy significativo por lo que se podría decir que las tres submuestras cumplen las especificaciones (Acosta & Reyes, 2021).

Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,38	2,27	2,33	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,5	2,4	2,45	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,71	2,61	2,65	--
Absorción (%)	5,03	5,85	5,1	0,8-2,0
PA (%)	11,4	7,8	7,7	10 (máx)

**Figura 42** Residuos de los ensayos  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la tabla se aprecia que todas las sub-muestras poseen un valor de peso específico corriente menor que el mínimo requerido, así como porcentajes de absorción mayores que los establecidos en la norma, como se ha mencionado anteriormente esto se debe al mortero adherido en la superficie del AR



**Figura 43:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

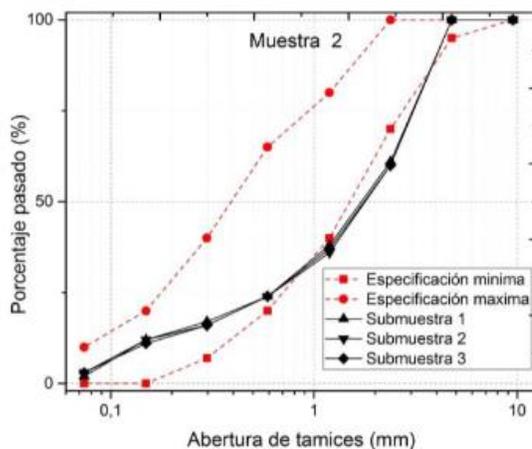
Ensayos	Resultados			
	Submuestra 1	Submuestra 2	Submuestra 3	Especificaciones
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,27	2,28	2,27	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,41	2,41	2,42	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,62	2,66	--
Absorción (%)	6,44	5,76	6,49	0,8-2,0
PA (%)	2,6	6,5	7,7	10 (máx)

**Figura 44:** Resultados de los ensayos  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la tabla se puede observar que todas las sub-muestras analizadas presentan valores de peso específico corriente similares, los cuales están por debajo del valor mínimo establecido, así como porcentajes de absorción mayores que el valor máximo que plantea la norma ya que al igual que las sub-muestras antes mencionadas estos áridos presentan en su superficie mortero adherido (Acosta & Reyes, 2021).

#### 2.2.5.3.4. Árido fino

**Muestra 2** árido procedente de material suelto tamizado entre 0 y 5mm



**Figura 45:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

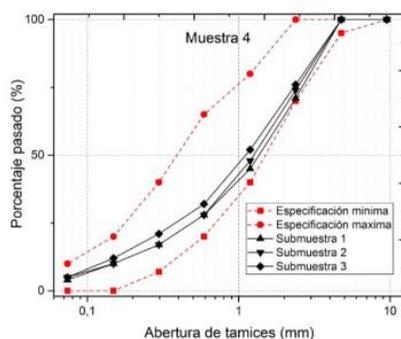
Como se observa en la figura 8 todas las sub-muestras en los tamices 2,38 y 1,19 tienen porcentajes pasados similares, aunque por debajo de los límites inferiores especificados

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,13	2,14	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,36	2,37	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,76	2,77	--
Absorción (%)	10,61	10,57	0,8-2,0
EA (%)	78,9	79,7	≥55
Tamiz 200 (%)	10,22	9,7	≤ 4

EA: Equivalente de arena

**Figura 46:** Resultados de los ensayos  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la tabla se puede apreciar que el peso específico corriente de las sub-muestras está por debajo del valor mínimo especificado, el porcentaje de absorción de agua de las mismas es mayor que el valor máximo que establece la norma, así como el porcentaje de material que pasa el tamiz 200, esto como se ha dicho anteriormente es debido al mortero que presentan los AR, mientras que el equivalente de arena si cumple con lo requerido. Así mismo se aprecia que los pesos específicos de los áridos reciclados finos son menores que los de los áridos gruesos, así como el porcentaje de absorción es mayor, lo que es debido a que los finos presentan una mayor superficie específica (Acosta & Reyes, 2021).



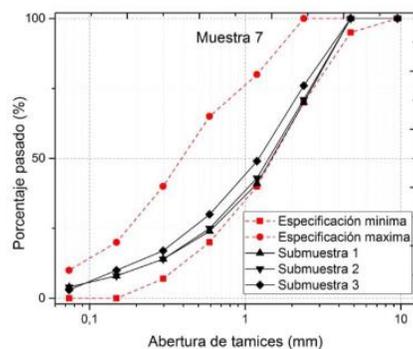
**Figura 47:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

Se observa en la figura que la granulometría de cada sub-muestra cumple con el uso granulométrico que establece la norma para AN

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,35	2,34	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,5	2,49	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,77	2,77	--
Absorción (%)	6,37	6,64	0,8-2,0
EA (%)	95,9	95,9	≥55
Tamiz 200 (%)	5,42	5,9	≤ 4

**Figura 48:** Resultados de los ensayos  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

En la tabla se observa que al igual que en la muestra anterior el peso específico de todas las sub-muestras analizadas es menor que valor mínimo establecido, también el porcentaje de absorción y de material más fino que el tamiz 200 es mayor que el planteado por la norma, lo que se debe al mortero adherido en la superficie del AR al igual que en los casos anteriores. En este caso se puede apreciar además que los porcentajes de absorción son menores que los de la muestra 2 lo que se debe al proceso de trituración al cual fue sometida esta muestra (Acosta & Reyes, 2021).



**Figura 49:** Curva granulométrica  
**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

Ensayos	Resultados		Especificaciones
	Submuestra 1	Submuestra 2	
PEC (g/cm <sup>3</sup> )	2,26	2,25	≥2,5
PES (g/cm <sup>3</sup> )	2,44	2,44	--
PEA (g/cm <sup>3</sup> )	2,76	2,77	--
Absorción (%)	8,06	8,26	0,8-2,0
EA (%)	96,6	95,7	≥55
Tamiz 200 (%)	5,33	6,25	≤ 4

**Figura 50:** Resultados de los ensayos

**Fuente:** (Acosta & Reyes, 2021)

Como se muestra en la tabla 8 los valores de peso específico de las sub-muestras no cumplen las especificaciones, así como los porcentajes de absorción y de material más que el tamiz 200 que son superiores a los máximos que establece la norma, lo que se debe al igual que en las muestras anteriores, al mortero adherido en la superficie del AR (Acosta & Reyes, 2021).

#### **2.2.5.4. Comparación entre los áridos reciclados y los áridos naturales**

##### **2.2.5.4.1. Árido grueso**

Como se puede ver en la figura las muestras de AR cuentan con valores de peso específico menores respecto al árido grueso natural (AGN), esto se debe a la capa de mortero que recubre las partículas de AR, ya que es un material muy fino que posee gran superficie específica, lo que provoca que tenga muy baja densidad. Se observa que las muestras 3, 5 y 6 presentan pesos específicos mayores que la muestra 1 presentando esta, el menor valor. La diferencia entre estas muestras radica en que las primeras fueron sometidas al proceso de trituración, lo que implicó desprendimiento del mortero adherido, dejando expuesto el árido en su forma natural. De esta manera disminuye la superficie específica y hace que aumente el peso específico (Acosta & Reyes, 2021).

#### **2.2.5.4.2. Árido fino**

En la figura podemos ver que al igual que en los áridos gruesos las muestras de AR tienen pesos específicos menores que el árido FN, aunque en este caso existe una mayor diferencia entre las densidades de los AR y la del árido FN debido a que las fracciones finas presentan un mayor contenido de mortero y por tanto menores pesos específicos (Acosta & Reyes, 2021).

#### **2.2.5.5. Conclusiones**

Durante la investigación se pudo llegar a la conclusión de que el proceso de trituración al que fueron sometidas algunas de las muestras de AR, permitió que las mismas tengan mayor peso específico, porcentaje de partículas planas y alargadas y de equivalente de arena, así como, menor porcentaje de absorción y de material más fino que el tamiz 200, con respecto a las muestras que no fueron trituradas. Así mismo, se evidenció que este influye en las propiedades de las diferentes muestras de AR en la fracción gruesa, sin embargo, el análisis Tukey realizado mostró que eso no sucede en la fracción fina (Acosta & Reyes, 2021).-

Los ensayos realizados a los distintos áridos reciclados arrojaron como resultado que para las muestras de árido grueso los valores de peso específico varían desde 2,22 hasta 2,35g/cm<sup>3</sup>, los porcentajes de absorción y de partículas planas y alargadas oscilan entre 4,78 –7,16 % y 5,6 –8,97% respectivamente. De igual forma para los áridos finos se obtuvieron pesos específicos entre 2,14 y 2,34g/cm<sup>3</sup>, así como porcentajes de absorción, equivalente de arena y de material más fino que el tamiz 200 que se encuentran en los siguientes rangos: 6,51 –10,59%, 79 –96% y 5,79 –9,96% respectivamente. De manera general se mostró que los AR respecto a los AN se comportan de la siguiente manera (Acosta & Reyes, 2021).

Presentan menores pesos específicos y porcentajes de material más fino que el tamiz 200- Poseen mayores porcentajes de absorción, de partículas planas y alargadas y de equivalente de arena. Además, los pesos específicos, porcentajes de absorción y de material más fino que el tamiz 200 de los AR no cumplen con las especificaciones de

los AN para ser empleados en mezclas asfálticas en caliente. En relación a las muestras de AR analizadas la de mejor comportamiento para la fracción gruesa es la que se obtiene mediante el triturado de las partículas mayores de 10mm del hormigón suelto, al igual que para la fracción fina (Acosta & Reyes, 2021).

#### **2.2.5.6. Asfalto reciclado**

##### **2.2.5.6.1. Definición medioambiental de los contaminantes**

En medioambiente se define contaminante a toda aquella sustancia que no puede ser asimilada por el sistema. Un contaminante es cualquier clase de materia ya sea artificial o natural que no hay manera de integrarla dentro del ciclo ecológico y biológico natural. Existen varias clases de contaminantes en forma de gas, líquido o en estado sólido que destacan por influir negativamente en el entorno (Alonso, 2017).

En la naturaleza existen contaminantes naturales como por ejemplo en las zonas volcánicas en donde se expulsan al entorno gases nocivos o en otros casos emanaciones de aguas contaminantes. Esto último ocurre en los fondos oceánicos en que dichos volcanes expulsan soluciones metálicas sobresaturadas con concentraciones letales para la vida. Tanto esos gases como esos líquidos tienen efectos devastadores sobre la vida cuando contaminan aguas subterráneas o tierras con vegetales y cultivos.

En el caso de los contaminantes artificiales y por tanto producidos por actividades humanas, destacan sobre todo los vertidos de petróleo en el mar sobre todo. En sí estos dos ejemplos mencionados no son ni malos ni buenos en sí, simplemente ocurre que en esas concentraciones y cantidades, no pueden ser asimilados por el entorno ya que estas sustancias no están donde deberían (Alonso, 2017).



**Figura 51:** Asfalto reciclado

**Fuente:** (Alonso, 2017)

#### **2.2.5.6.2. En qué consiste el reciclaje.**

En medioambiente todo se puede reciclar. Todas esas acumulaciones de metales nocivos para el medio, que se mencionaban en el ejemplo del volcán por emisiones muy concentradas de metales o el caso del vertido de petróleo, se deben tratar mediante unos pasos y protocolos (Alonso, 2017).

Por un lado se agrupan en un lugar para su contención. En este lugar son confinados en depósitos para su aprovechamiento. Todas las sustancias tienen alguna utilidad. Así en primer lugar se procesan y se separan, y en segundo lugar se destinan a un uso productivo dentro del sistema técnico e industrial que existe en la actualidad.

Nueva vida y usos que tiene el asfalto tras su proceso de reciclaje. El asfalto reciclado es eso mismo, secciones de asfalto que están envejecidas y cuya vida útil ha terminado. Mediante el proceso de reciclaje, este material pasa a tener un nuevo uso empleando sus mismos componentes. Así este asfalto proviene de carreteras que son sustituidas por nuevos trazados de autopista, o bien de determinados tramos que han sido modificados o que proceden del fresado de superficies dañadas que necesitan una renovación



**Figura 52:** Asfalto Reciclado en planta

**Fuente:** (Alonso, 2017)

Desde un punto de vista mecánico, el asfalto que se debe retirar en calles por obras, o modificación de trazados, se hace mediante maquinaria especial. En unos casos se perfora con martillos neumáticos y en otro con percutores excavadores. Para retirar los restos se emplean excavadoras que sitúan estos restos dentro de los remolques de los camiones para su posterior transporte hasta una planta de reciclado (Alonso, 2017).

Para realizar una limpieza y renovación del firme es necesario emplear máquinas fresadoras. El fresado consiste en cortar materiales mediante la acción mecánica de herramientas giratorias que incorporan dientes y muelas de gran dureza para arrancar dicho material. En el campo técnico existen muchísimas técnicas y máquinas especiales para aplicar distintas técnicas de fresado.

Estas máquinas fresadoras van desbastando el suelo arrancándole pedazos de distinta granulometría según se precise para las tareas de posterior reciclado.

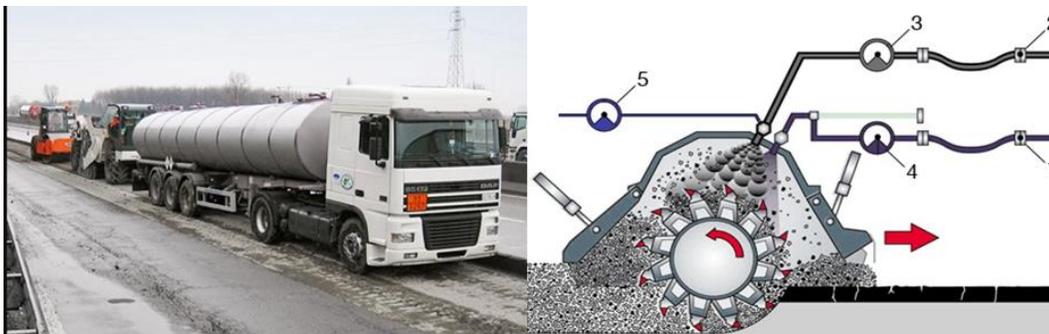
Por un lado se pueden acumular en remolques para un uso posterior allí mismo, o bien en una planta de tratamiento. Hay muchas combinaciones para el uso de estas máquinas. De este modo se puede realizar una tarea muy sencilla y localizada o bien plantear un

auténtico sistema de trenes mecanizados uno detrás de otro para realizar de una sola vez trabajos de asfaltado gigantescos (Alonso, 2017)

### 2.2.5.6.3. Recicladora de asfalto

El reciclado del asfalto no es algo nuevo. El pavimento de una carretera está sujeto a un envejecimiento progresivo debido a la acción del tráfico, la meteorología y del propio material. Sin embargo, volver a calentar el asfalto para regenerarlo producía un material seco y grumoso que conservaba poco de los aceites del hormigón asfáltico original (Yepez, 2017).

A menudo, el asfalto se volvía a calentar de forma estática, sin agitarlo ni mezclarlo durante el proceso. Esto daba como resultado temperaturas desiguales que producían resultados dispares; una parte estaba muy caliente, otra parte estaba demasiado fría y otra a la temperatura justa. Hoy día, donde los costos del petróleo crecen y los presupuestos son escasos, la recicladora de asfalto es una forma económica de mantener las superficies asfaltadas sin dañar el medioambiente, reciclando los productos de hidrocarburos en lugar de desecharlos y utilizar material nuevo en reemplazo. El reciclaje de asfalto tiene numerosas ventajas. Una de ellas es que permite utilizar el 100% del pavimento dañado, lo que disminuye los costos de mantenimiento vial en más de 40% (Yepez, 2017)



**Figura 53:** Fresadora de sfalto  
**Fuente:** (Yepez, 2017)

Para reciclar el asfalto, se pueden usar diversas técnicas. Todas ellas se basan en la reutilización de los materiales del firme defectuoso, a los que se pueden añadir otros materiales. Los tipos habituales, sin considerar el reciclado en planta, son los siguientes: Reciclado “in situ” en caliente: Se reutilizan todos los materiales del firme mediante una aportación de calor que se realiza en la misma obra. El firme se calienta con unos quemadores y se fresa en un grosor determinado. A este material se añaden agentes rejuvenecedores. La nueva mezcla se extiende y compacta mediante medios convencionales (Yepez, 2017).

Reciclado templado “in situ”: En este caso la temperatura de fabricación se menor a la anterior, lo cual presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental. Se utilizan para ello emulsiones bituminosas.

Reciclado “in situ” en frío con cemento: Se fresa en frío un cierto espesor del firme y se mezcla con un conglomerante hidráulico (normalmente cemento). La mezcla se extiende y compacta.

Reciclado “in situ” en frío con emulsiones bituminosas (RFSE): Tras el fresado, se mezcla el material envejecido con emulsiones y otros aditivos. Se extiende, compacta y cura la capa (Yepez, 2017).

#### **2.2.5.6.4. Pasas para la rehabilitación de un pavimento**

Analizar los daños y anomalías producidas sobre el pavimento (Alonso, 2017).

- . Limpieza general de todas las superficies antes de iniciar el proceso.
- . Diseñar el espesor y mezcla asfáltica reciclada.
- . Uso de la maquinaria adecuada para iniciar el fresado.

. Uso de la recicladora asfáltica en dicho pavimento, si se dispone de ella, si no, se emplearía el asfalto reciclado en planta con las máquinas convencionales.

Mediante las recicladoras de asfalto el reciclaje ahora es del 100%. Actualmente es posible lograr una mezcla asfáltica adecuada muy superior en prestaciones a los sistemas de reciclaje anteriores en donde se producían numerosos grumos y los materiales quedaban demasiado secos, no homogéneos y desprovistos de la mayoría de sus compuestos más valiosos. Ahora con estas máquinas eso ya no ocurre (Alonso, 2017).

Estas máquinas emplean distintas técnicas para la reutilización en donde se reciclan los mismos materiales que se extraen a la vez que es posible mezclarlos con otros materiales (Alonso, 2017).

#### **2.2.5.6.5. Tipos de reciclaje**

Las tecnologías de reciclado de estos pavimentos pueden ser, en función del lugar donde se lleva a cabo la mezcla, reciclado «in situ» o reciclado «en planta. También en función de la temperatura de elaboración y colocación de la mezcla podrá ser reciclado en frío o reciclado en caliente. Y por último en función del ligante que se añade, si es con cemento o betún asfáltico, con emulsiones asfálticas o bien con aglomerante hidráulico (Alonso, 2017).

Por lo general las tecnologías mencionadas anteriormente se suelen combinar:

- En la técnica de reciclado «in situ» en caliente se reutilizan todos los materiales del pavimento por el calor que se genera allí con la máquina mediante quemadores que calientan el firme. En este proceso son añadidos elementos para reforzar y renovar dicho firme de modo que la mezcla producida primero se extiende y después se compacta.

- En la técnica del reciclado templado «in situ», la temperatura es mucho menor y es necesario usar emulsiones bituminosas.
- Con la técnica del reciclado «in situ» en frío con cemento, se fresa en frío un espesor concreto del pavimento mezclándolo con un conglomerante hidráulico que suele ser cemento.

Esta técnica de reciclado es la que más popularidad ha ido adquiriendo por todo el mundo sobre todo para el refuerzo estructural de los firmes ya agotados. Se debe sobre todo a los grandes avances en las máquinas recicladoras, los distribuidores de conglomerante y los equipos de compactación, el comportamiento de muchos firmes reciclados con esta técnica, el cada vez mayor conocimiento sobre propiedades de materiales reciclados con cemento, y los cada vez menores costes comparados con los otros tipos de rehabilitación.

Concretamente esta técnica de reciclado con cemento se emplea en cada vez más en países como Estados Unidos, Francia, España, y Australia (Alonso, 2017).

Además de sus usos en vías y autopistas se usa cada vez más en aeropuertos. En un principio estos pavimentos reciclados dieron buenos resultados con el tráfico rodado general, aunque siempre fue menos aconsejable para vías de vehículos de gran tonelaje, cosa que está cambiando con el mayor conocimiento y mejora de esta técnica.

Por último se emplea también la técnica del reciclado «in situ» en frío con emulsiones bituminosas (RFSE). Igual que en los casos anteriores, después del fresado, se mezcla el material más viejo con agentes químicos, y emulsiones. Finalmente, se distribuye por la superficie para su compactación posterior.

#### **2.2.5.6.6. Proceso de repavimentación.**

Al pavimentar una vía de nuevo, tras ese proceso de fresado y reciclaje se echa esa capa nueva reciclada sobre la base de pavimento fresada. A continuación sobre esa base se echa encima otra mezcla de asfalto nuevo. Su objetivo es subsanar deficiencias en la superficie de tipo grietas e irregularidades. Ambas capas quedan compactadas a la vez de manera que la capa reciclada proporciona una base firme y estructural, y la segunda capa presentará unas características superiores en adherencia y firmeza (Alonso, 2017).

### **2.3. MARCO LEGAL**

#### **Normativa nacional**

2.4.1.1. Constitución de la república del Ecuador (**Ecuador, Constitución Del Ecuador, 2008**), en los siguientes artículos nos habla del derecho que tienen todas las personas.

**Art. 30 y 31.-** nos indica el derecho de contar con una vivienda de manera segura así como el respeto a cualquier ideología que puede tener el ser humano.

**Art. 264. 7 y 281. 8.** Nos habla sobre los implementos de salud, educación, los espacios públicos deportivos y el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica que debemos contar.

**Art. 350 y 385.-** la educación superior será una formación académica superior con visión científica, tecnológica, humanista e impulsar la producción nacional que sea eficiente y productiva.

#### **Reglamento general a la ley orgánica de educación superior.**

Estado garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales (decreto ejecutivo 742, 2019).

Artículo 26 establece que la educación es un derecho de las personas a lo largo de su vida y constituye un área prioritaria de la política pública y de la inversión estatal

Artículo 27 establece que la educación es el marco del respeto a los derechos humanos, al medio ambiente y a la democracia.

Artículo 28 nos indica que la educación responderá al interés público, y no estará al servicio de intereses individuales y corporativos

5 y 13 del artículo 147, establecen que corresponde al Presidente de la República dirigir la administración pública en forma desconcentrada y expedir los decretos necesarios para su organización (decreto ejecutivo 742, 2019).

Artículo 344 es sobre el Régimen del Buen Vivir, determina que el sistema nacional de educación, así como acciones en los niveles de educación inicial, básica y bachillerato, y estará articulado con el Sistema de Educación Superior.

Artículo 350 señala que el Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y

Artículo 351 el Sistema de Educación Superior estará articulado al sistema nacional de educación y al Plan Nacional de Desarrollo; la ley establecerá los mecanismos de coordinación del Sistema de Educación Superior REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR (decreto ejecutivo 742, 2019)

Artículo 352 el Sistema de Educación Superior estará integrado por universidades y escuelas politécnicas; institutos superiores técnicos, tecnológicos y pedagógicos; y conservatorios superiores de música y artes, debidamente acreditados y evaluados.

### **Reglamento de titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.**

Que la unidad de titulación es la unidad curricular que incluye las asignaturas, cursos o sus equivalentes, que permiten la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera para la resolución de problemas, dilemas o desafíos de una profesión (universidad laica vicente rocafuerte, 2019).

Que el resultado final de esta unidad curricular es:

- a) el desarrollo de un trabajo de titulación, o,
- b) la preparación y aprobación de un examen de grado de carácter complejo, con los cuales se realiza la validación académica de los conocimientos, habilidades y

desempeños adquiridos en la carrera por los estudiantes (universidad laica vicente rocafuerte, 2019).

Que en ambas modalidades el estudiante deberá demostrar el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional, así como las destrezas alcanzadas al término de la misma, sin que le sea permitido realizar otra unidad curricular distinta a las señaladas en la Ley (universidad laica vicente rocafuerte, 2019)

Que en ejercicio de la autonomía universitaria establecida en el Art. 351 de la Constitución de la República y al amparo de la potestad reglamentaria ejercida por el Órgano Colegiado Superior (OCAS) de la Universidad Laica Vicente Rocaфуerte de Guayaquil.

Art.17.-Proyecto de Investigación. - Es una propuesta que pretende encontrar resultados que den respuesta a un problema que surja de las prácticas pre-profesionales, vinculación con la sociedad o de su experiencia laboral. En esta opción se puede hacer uso de cualquiera de los métodos y tipos de investigación existentes que apliquen al tema motivo de la propuesta, una investigación exploratoria y diagnóstica, la base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta (universidad laica vicente rocafuerte, 2019)

### **Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida**

Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada.

Incentivar la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, impulsar el cambio mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades.

Implementar sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de alta exposición a amenazas de origen natural y antrópico.

**Especificaciones Técnicas del Ministerio y Transporte de Obras Públicas (Ecuador) en sus capítulos.**

- SECCION 405      Capas de Rodadura      IV-77
- SECCION 811      Agregados para Hormigón Asfáltico      VIII-94

**Normas Técnicas Ecuatorianas**

- INEN NTE 2515: Producto derivado del petróleo - cemento asfáltico.
- INEN NTE 2515 – 808 Determinación del punto de inflamación en capa abierta Cleveland.
- INEN NTE 2515 – 915 Determinación de la solubilidad en tricloroetileno.
- INEN NTE 2515 – 916 Determinación de la Ductilidad.
- INEN NTE 2515 – 917 Determinación de la penetración.
- INEN NTE 923      Gravedad específica del asfalto.
- INEN NTE 0695      Muestreo del agregado.
- INEN NTE 696 y 697      Ensayos granulométricos.
- INEN NTE 0860      Ensayos de Abrasión.
- INEN NTE 0858      Determinación de la masa unitaria en agregado.
- INEN NTE 0857      Determinación del peso específico en agregado grueso.
- INEN NTE 0856      Determinación del peso específico en agregado fino.

### **Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)**

- ASTM D3381 Cemento de asfalto graduado de viscosidad para uso en la construcción de pavimentos.
- ASTM D4867 Método de prueba para el efecto de la humedad de concreto asfáltico de pavimento.
- ASTM D4123 Modulo resiliente diametral para asfálticas.
- ASTM D4123-82 Método de ensayo estándar para prueba de tensión indirecta para módulo resiliente de mezclas bituminosas.
- ASTM D2171 Método de ensayo estándar para viscosidad de asfaltos por viscosímetro capilar de vacío.
- ASTM D2170 Método de ensayo estándar para la viscosidad cinemática de los asfaltos (bitumen).
- ASTM D3625 Práctica estándar para el efecto del agua sobre el agregado revestido de betún usando agua hirviendo.

### **Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes**

- AASHTO T182 Método estándar de ensayo para el revestimiento y el desbaste de mezclas de aguardo bitumen.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 3.1. Enfoque de la investigación

Cuando hablamos de enfoque de investigación, nos referimos a la naturaleza del estudio, la cual se clasifica como cuantitativa, cualitativa o mixta; y abarca el proceso investigativo en todas sus etapas: desde la definición del tema y el planteamiento del problema de investigación, hasta el desarrollo de la perspectiva teórica, la definición de la estrategia metodológica, y la recolección, análisis e interpretación de los datos. De esta forma, la selección del enfoque de investigación nunca se reduce a un asunto de azar o capricho, sino, a decisiones de quien investiga, en función de la construcción del problema y las metas del estudio (Mata, 2019).

En esta investigación el enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, datos (ensayos respectivos para el diseño de la mezcla asfáltica) y magnitudes numéricas entre las cuales podemos determinar la estabilidad y el flujo y sus proporciones adecuadas para considerarlo como parte del diseño asfáltico. Al final se medirán las variables y se analizarán los datos obtenidos en la investigación, todo este proceso se debe realizar de conformidad a lo establecido en las normas y procedimientos, sin relajar la observancia de las mismas, siguiendo un rígido proceso en la toma de muestras.

### **3.2. Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional)**

El alcance de una investigación indica el resultado lo que se obtendrá a partir de ella y condiciona el método que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación. A continuación se presentan los cuatro tipos de alcance que puede tener una investigación, explicando cuándo es conveniente aplicar cada uno (barchitec, 2017).

Un proyecto de investigación nace con una idea que tiene el investigador de estudiar un tema de su interés, y que al revisar la literatura disponible encuentra un problema o área de oportunidad a atender. Y cuando se define el problema de investigación, es momento también de establecer el alcance de la misma (barchitec, 2017).

- Estudio exploratorio: información general respecto a un fenómeno o problema poco conocido, incluyendo la identificación de posibles variables a estudiar en un futuro.
- Estudio descriptivo: información detallada respecto un fenómeno o problema para describir sus dimensiones (variables) con precisión.
- Estudio correlacional: información respecto a la relación actual entre dos o más variables, que permita predecir su comportamiento futuro
- Estudio explicativo: causas de los eventos, sucesos o fenómenos estudiados, explicando las condiciones en las que se manifiesta.

El tema a investigar será de carácter Exploratorio y Descriptivo, exploratorio porque son materiales innovadores como es el hormigón asfáltico reciclado, la ceniza de bagazo de la caña de azúcar y la arena volcánica, y este estudio dejara la posibilidad de seguir estudiándolo a futuro otras alternativas y descriptivo porque nos permite recolectar datos de los ensayos realizados utilizando los materiales propuestos en este estudio para la elaboración del diseño de asfalto propuesto.

### **3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos**

#### **3.3.1. Técnica.**

En una investigación, la recolección de datos es un proceso estrechamente relacionado con el análisis de los mismos, sin embargo cada tipo de investigación requiere técnicas apropiadas a utilizar y cada técnica establece su propio instrumento, herramientas o medios a emplear; existen varias técnicas e instrumentos que le permite al investigador recolectar datos de una muestra acerca del problema de la investigación y de la hipótesis de trabajo (Contreras & Roa, 2015).

Las técnicas que se utilizan en esta investigación son los ensayos a la fluidez, ensayo de Marshall para obtener su estabilidad y flujo que este dentro de lo requerido. Una vez definida las proporciones y el diseño apropiado se realizará el análisis donde se tiene la siguiente etapa en la cual se obtendrán los datos necesarios, criterios o variables del muestreo.

Aquí recopilamos todos los datos respectivos de cada ensayo realizado a cada variable propuesta así como la elaboración del diseño asfáltico

#### **3.3.2. Instrumento**

La técnica documental permite la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos. Incluye el uso de instrumentos definidos según la fuente documental a que hacen referencia. La técnica de campo permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva (Contreras & Roa, 2015).

Los instrumentos usados en el proyecto fueron:

- Prensa hidráulica
- Formatos realizados por Autores del Proyecto.

- Fichas de resultados.
- Equipos usados en el laboratorio RUFILIN

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es: “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”

Para Arias (2012) define como “...población un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación...”

Expuesto lo anterior, los autores concuerdan que la Población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de esta poseen una característica común, la que se estudia y da origen a los datos de la investigación (Rojas A. , 2017).

Para el tema investigativo la población será las briquetas realizadas a las mezclas asfáltica con las proporciones de los materiales del tema investigativo en esta tesis.

Se realizaron 3 diseños de asfalto, y cada diseño hay 4% de asfalto y cada porcentaje tiene 3 briquetas que dan un total de briquetas de 36, estas fueron ensayadas para obtener su estabilidad y flujo respectivos.

#### **3.4.2. Muestra.**

En el libro Metodología de la investigación por los autores Hernández, Fernández Y Baptista mencionan que la Muestra se relaciona con la población, es decir, es un subconjunto de piezas que pertenecen a ese conjunto definido en su composición al que le llamamos población.

La muestra es intencionada no probabilística, donde los investigadores realizamos 3 diseños de asfalto con diversos porcentajes de los materiales innovadores basándonos en el diseño patrón con los materiales tradicionales y se realizó 3 tomas de briquetas por cada porcentaje de asfalto en cada diseño, cada diseño tiene 4 % de asfalto en total de briquetas es de 36, estas fueron ensayadas para obtener su estabilidad y flujo respectivos.

**Tabla 2**

*Cantidad de briquetas*

<b>Total de diseño</b>	<b>% de asfalto para cada diseño</b>	<b>Total de briquetas para cada % de asfalto</b>	<b>Total de briquetas</b>
3	4	3	36

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### **3.5. Presentación y análisis de resultados**

Se determinará cada ensayo en tablas comparativas, dando los correspondientes resultados con sus respectivas mezclas, cada procedimiento estará detallado para su respectivo análisis, se procederá dar un criterio para los diseños realizados de mezcla asfáltica de cada porcentaje realizados y nos basaremos en el diseño asfáltico con los materiales tradicionales, el porcentaje del agregado grueso será el material de asfalto reciclado previamente fresado y tamizado por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " , el porcentaje fino será la arena volcánica mezclada con un porcentaje mínimo de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, que son los materiales presentados en este estudio de investigación. Presentamos los ensayos a continuación:

### 3.5.1. Arena volcánica

Para esta variable se presenta el ensayo de clasificación de las arenas volcánicas que este material sería parte del agregado fina de la mezcla asfáltica propuesta en este tema investigativo, a continuación, se presentamos el ensayo de clasificación realizado.

<b>GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL</b>		<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS) SUCS</b>			
ASTM D 2487, D 2216, D 4318, D 422					
<b>PROYECTO TEMA DE TESIS :</b> Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado		<b>SONDEO:</b> 1			
<b>MATERIAL:</b> arena volcánica		<b>MUESTRA:</b> 1			
<b>FECHA:</b> 13-Dic-21		<b>PROFUND (m):</b>			
		<b>OPERADOR:</b>			
		<b>ENSAYO No:</b>			
Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%	Resultados
<b>1. Contenido de agua</b>	2,000.00	1,978.00	211.00	1.25	1
<b>2. Límite Líquido</b>					NO PLASTICO
<b>3. Límite Plástico</b>					NO PLASTICO
<b>4. Granulometría</b>			<b>5. Resumen</b>		
Peso Inic. Húm. = 1,789.00				% de Grava = 0	
Peso inicial seco para cálculos: 1,767.00				% de Arena = 86	
Tamiz	Pes. Ret. parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	% de Finos = 14	
3/4"	0.00	0	100	L. Líquido LL = 0	
No. 4	0.86	0	100	L. Plástico LP = 0	
No. 8	6.36	0	100	Índice Plástico IP = 0	
No. 10	0.00	0	100	% Humedad w = 1	
No. 16	56.80	4	96	<b>6. Clasificación</b>	
No. 30	342.80	23	77	SUCS: SM	
No. 50	543.76	54	46	AASHTO: A-1-a	
No. 100	327.54	72	28	IG(86): 0	
No. 200	243.70	86	14	IG(45): 0	
<b>7. Descripción: arena limosa gris verdosa</b>					
<b>8. Observacion:</b>					
CALCULADO POR :			VERIFICADO POR :		

**Figura 54:** Ensayo de clasificación  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.2. Ceniza de bagazo de la caña de azúcar

Para esta variable como es la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, se realizó el ensayo de peso unitario para saber su densidad suelta y con eso podemos determinar la cantidad que se utilizaría como parte del agregado fino para el diseño de asfalto propuesto con los materiales innovadores, a continuación, se presentamos el ensayo de peso unitario realizado

<b>PESO UNITARIO</b>		
NORMA ASTM C 29		
<b>PROYECTO</b>	Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado	
		Calculado:
<b>Fecha:</b>	13-Dic-21	Informe N°
Descripción:	CENIZA DE BAGAZO	
V: volumen del recipiente, ver tabla	2,794	cm <sup>3</sup>
T: masa del recipiente	1,811	g
Msr: masa agregado suelto + recipiente	3,672	g
Mcr: masa agregado compactado + recipiente	3,764	g
Ms: masa agregado suelto Msr - T	1,861	g
Mc: masa agregado compactado Mcr - T	1,953	g
<b>Peso unitario suelto</b>	<b>666</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso unitario compactado</b>	<b>699</b>	kg/m <sup>3</sup>
	Tamaño máximo nominal	Capacidad del recipiente
	mm (plg)	pie <sup>3</sup> (lt)
	< = a 12.5 (1/2)	1/10 (2.8)
	25.0 (1)	1/3 (9.3)
	37.5 (1 1/2)	1/2 (14.0)
	75.0 (3)	1 (28.0)
Laboratorista		

**Figura 55:** Ensayo de peso unitario

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.3. Hormigón asfáltico reciclado

Para esta variable como es el hormigón asfáltico reciclado, se realizó el ensayo de clasificación al hormigón asfáltico triturado para utilizarlo como el agregado grueso y ser parte del diseño propuesto, el ensayo de clasificación lo presentamos a continuación.

REGISTRO DE ENSAYOS					
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA					
(SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS) SUCS					
NORMAS ASTM D 2487, D 2216, D 4318, D 422				Marzo - 2008	
<b>PROYECTO:</b>	"Análisis de la estabilización de suelos expansivos utilizando hormigón asfáltico reciclado, ceniza del bagazo de la caña de azúcar para la sub rasante de los pavimentos"			<b>CALICATA:</b>	1
<b>UBICACIÓN:</b>	hormigón asfáltico reciclado fresado			<b>MUESTRA:</b>	1
<b>FECHA DE TOM:</b>	13-Dic-21			<b>PROFUND (m):</b>	
				<b>FECHA ENSAYO:</b>	13-Dic-21
Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%	Resultados
<b>1. Contenido de agua</b>	10,000.00	9,833.00	364.00	1.76	2
<b>2. Límite Líquido</b>	NO PLASTICC				NP
<b>3. Límite Plástico</b>	NO PLASTICC				NP
<b>4. Granulometría</b>	<b>5. Resumen</b>				
Peso Inic. Húm. =	9,636.00			% de Grava =	<b>70</b>
Peso inicial seco para cálculos:	9,469.00			% de Arena =	<b>27</b>
				% de Finos =	<b>2</b>
Tamiz	Pes. Ret. parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Mejoramiento rango %	L. Líquido LL =
4"	0.00			100	L. Plástico LP =
2"					Índice Plástico IP =
1 1/2"					% Humedad w =
1"					<b>6. Clasificación</b>
3/4"	2,455.00	25.93	74.1		SUCS:
3/8"					<b>GP</b>
No. 4	4,212.00	70.41	29.6		AASHTO:
No. 10					<b>A-1-a</b>
No. 40					IG(86):
No. 200	2,567.00	97.52	2.5	0 - 20	IG(45):
					0
					0
<b>7. Descripción:</b>	Grava arenosa limosa gris oscuro				
<b>8. Observacion:</b>					

Emite:

Aprueba:

Laboratorista

Ing. Gonzalo Velasco Cerezo

**Figura 56:** Ensayo de clasificación

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4. Elaboración de las mezclas y diseño asfáltico

Obteniendo el diseño tradicional, procedemos a realizar los diseños con los materiales innovadores propuesto en este tema investigativo, utilizando los porcentajes de los agregados de este diseño, así como. El material asfáltico triturado se lo utilizara el 17% del pasante del 3/4" y 30 del pasante del 3/8" y la arena que tiene un porcentaje del 53% será reemplazada por la arena volcánica 38% y la ceniza de bagazo 15%.

**3.5.4.1. Diseño de mezcla asfáltica utilizando el 17% del pasante del 3/4" y 30 del pasante del 3/8" con asfalto reciclado y el 53% con arena volcánica y ceniza de bagazo (38 y 15 %)**

**3.5.4.1.1. Ensayo de abrasión**

<b>GONZALO VELASCO CEREZO INGENIERO CIVIL</b>		<b>ENSAYO DE ABRASION (NORMA INEN 860)</b>	
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado			
MUESTRA: # 1 y 2 ripio 3/4" y 3/8".		FECHA: 20 – diciembre – 2021 MUESTRA: asfalto reciclado	
Muestra		1	2
Peso muestra antes del ensayo		5000	5000
Peso muestra despues del ensayo ret # 12		3178	3184
Peso muestra pasa # 12		1822	1816
% desgaste		<b>36.44</b>	<b>36.32</b>
Promedio		<b>36.4</b>	
Máximo desgaste de agregados para hormigón asfáltico 40%, cumple especificación			
Ing. Gonzalo Velasco C.			

**Figura 57:** Ensayo de abrasión  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

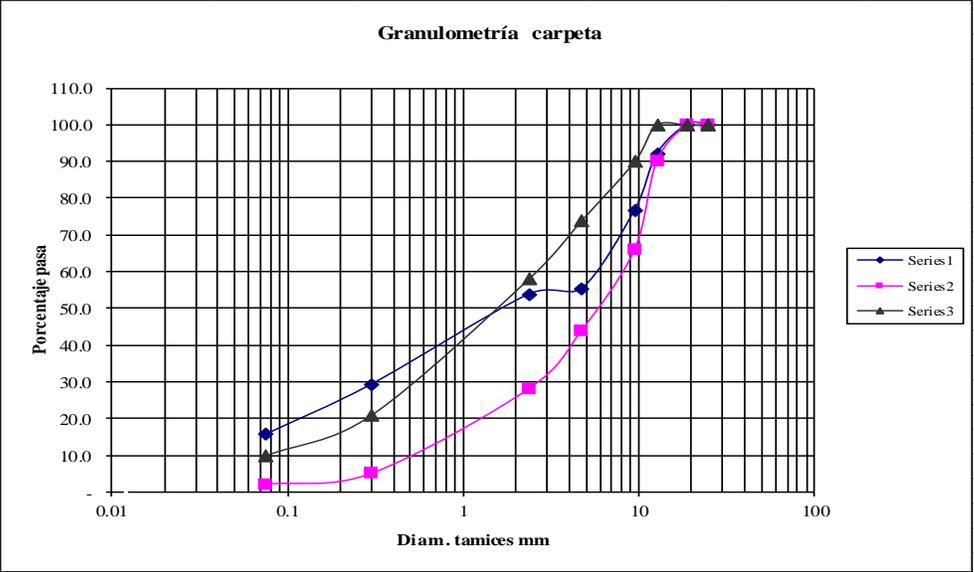
**3.5.4.1.2. Ensayo granulométrico**

**GONZALO VELASCO CEREZO** ENSAYO DE GRANULOMETRIA NORMA INEN (872)  
**INGENIERO CIVIL**

PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado

MUESTRA: Agregados Carpeta con arena volcanica FECHA: 20 – diciembre – 2021

	asfalta reciclado		arena volcanica y ceniza de bagazo		
	¾	3/8			
% cada tolva	17	30	53	100.00	
	% pasa # 1	% pasa # 2	% pasa 3	% Pasa Total	% ESPECIF.
<b>TAMIZ</b>					
1" (25.0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	-
¾" (19.0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	100
1/2" (12.7 mm)	8.89	30.14	52.87	91.9	90-100
3/8" (9.5 mm)	4.21	19.57	52.87	76.7	-
# 4 (4.75 mm)	0.21	2.29	52.87	55.4	44-74
# 8 (2.36 mm)	0.00	1.04	52.75	53.8	28-58
# 50 (0.30 mm)	0.00	0.13	29.18	29.3	5-21
# 200 (.075 mm)	0.00	0.00	15.72	15.7	2-10



Observación: No cumple especificación

Ing. Gonzalo Velasco C.

Figura 58: : Ensayo granulométrico  
 Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

**3.5.4.1.3. Peso específico**

<b>GONZALO VELASCO CEREZO</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>	
<b>INGENIERO CIVIL</b>			
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado			
MUESTRA: 3/4", 3/8" Y arena		FECHA: 20 – diciembre – 2021	
USO: Hormigón Asfáltico.			
<b>PESO ESPECIFICO - AGREGADO GRUESO</b>			
		asfalto reciclado	
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4		3/4"	3/8"
A Peso en el aire de la muestra secada al horno		5944	5872
B Peso en el aire de la muestra saturada sup. Seca		6082	6012
C Peso en el agua de la muestra saturada		4177	3521
Peso específico aparente A/(B-C)		3.120	2.357
Peso específico de S.S.S B/(B-C)		3.193	2.413
Peso específico nominal A/(A-C)		3.364	2.498
% de absorción (B-A)/A		2.322	2.384
<b>PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO</b>			
		# 1	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el integral		Arena volcanica	
A Peso aire muestra seca		245	
B Peso picnómetro aforado lleno de agua		348.1	
C Peso picnómetro aforado con muestra y agua		461.8	
S Peso muestra saturada con superficie seca		252.4	
Peso específico aparente		1.766	
Peso específico aparente (S.S.S)		1.820	
Peso específico nominal		1.866	
% Absorción		3.020	
Ing. Gonzalo Velasco C.			

**Figura 59:** Ensayo de peso específico  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

#### 3.5.4.1.4. Peso unitario

<b>GONZALO VELASCO CEREZO</b> <b>INGENIERO CIVIL</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado				
MUESTRA: # 1 arena y 2 ripio y arena.				
USO: Hormigón asfáltico.			FECHA: 20 – diciembre – 2021	
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/4</b>		asfalto reciclado		
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4		muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)		13488	13327	13398
B Volumen del recipiente (cm3)		9796	9796	9796
Peso unitario A/B		1.377	1.360	1.368
Promedio		1.368		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO 3/8</b>				
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4		muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso del material (gm)		13376	13298	13283
B Volumen del recipiente (cm3)		9796	9796	9796
Peso unitario A/B		1.365	1.357	1.356
Promedio		1.360		
<b>PESO UNITARIO AGREGADO FINO ARENA VOLCANICA</b>				
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral		muestra 1	muestra 2	muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)		4123	4237	4183
B Volumen del recipiente (cm3)		2968	2968	2968
Peso unitario A/B		1.389	1.428	1.409
Promedio		1.409		
Ing. Gonzalo Velasco C.				

**Figura 60:** Ensayo de peso unitario  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.1.5. Ensayo de estabilidad y flujo

GONZALO VELASCO CERREZO INGENIERO CIVIL		ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFÁLTICO																		
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado																				
FECHA: 20 - diciembre - 2021																				
Gagr.	2.075																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueata	Peso briqueata en gm				"Bulk" G	Peso específico		Asfalto Absorbido % J	Agregados (100-b)*g K	Volumen % Total Vacios con Aire L (1-g/l)*100	Asfalto Efectivo M 100-k-l	Vacios en Mnerales N 100-k	% Asfalto Efectivo O =b-((100-b)/100)	Peso Unitario P lb/pie3 62,4*g	Estabilidad		Flujo S 0,01"	Factor
			Seca En aire D	S.S.S en Aire E	En agua F	"Bulk" G		Máximo Teórico H	Máximo Medido I								Medida Q	Corregida R		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S		
						=d/e-f			=((h)*10^4)/h(100-b)	(100-b)*g Gagr.										
	5.5	6.3	1008.5	1049.1	507.7	1.863										1558	1563.2	6.23	1.00	
		6.6	1007.4	1048.1	509.3	1.870										1533	1408.7	6.31	0.92	
		6.2	1014.6	1055.8	512.5	1.867										1571	1624.6	6.54	1.03	
						1.867	1.962	2.022	1.62	85.0	7.688	7.295	15.0	3.973	116.48	1532.2	1532.2	6.36		
	6	6.4	1076.0	1121.1	553.7	1.896										1675	1631.3	7.34	0.97	
		6.6	1121.9	1164.6	574.8	1.902										1723	1583.3	7.22	0.92	
		5.9	1054.3	1092.7	540.0	1.908										1556	1767.3	7.65	1.14	
						1.902	1.952	2.013	1.66	86.2	5.516	8.314	13.8	4.442	118.69	1660.6	1660.6	7.40		
	6.5	6.7	1144.8	1181.7	593.7	1.947										1887	1685.4	8.45	0.89	
		6.3	1088.5	1126.6	566.0	1.942										1867	1873.2	8.72	1.00	
		6.4	1120.7	1155.8	579.4	1.944										1845	1796.9	9.05	0.97	
						1.944	1.942	1.998	1.53	87.6	2.685	9.699	12.4	5.065	121.32	1785.2	1785.2	8.74		
	7	6.7	1107.5	1148.3	572.7	1.924										1853	1655.0	9.75	0.89	
		6.4	1067.7	1108.7	552.7	1.920										1934	1883.6	9.82	0.97	
		6.5	1094.7	1135.4	566.2	1.923										1798	1700.5	9.62	0.95	
						1.923	1.933	1.967	0.96	86.2	2.238	11.589	13.8	6.111	119.97	1746.4	1746.4	9.73		
ESPECIFICACIONES:																				
Estabilidad mínima = 1.800 lb																				
Flujo (0.01 plg.) = 8-14																				
% vacíos = 3-5																				
			Ing. Gonzalo Velasco C.																	

Figura 61: Ensayo de estabilidad y flujo  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

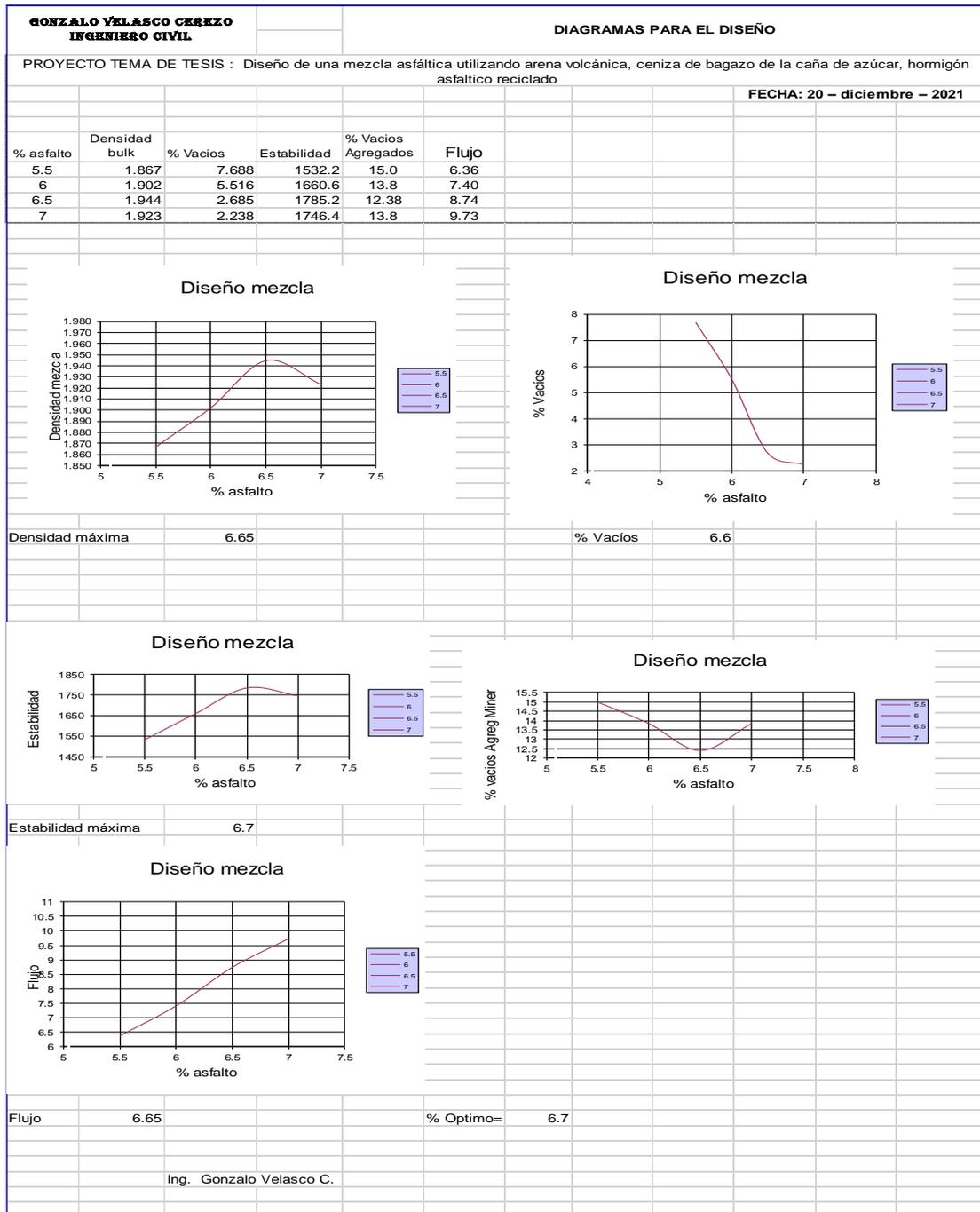
3.5.4.1.6. Ensayo RICE

<b>GONZALO VELASCO CEREZO</b> <b>INGENIERO CIVIL</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado				
FECHA: 20 – diciembre – 2021				
<b>Determinación Rice Gmm</b>				
% Asfalto	5.5	6	6.5	7
D Peso frasco+agua a 25°C	7406.5	7406.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2903.2	2903.2	2903.2
Peso muestra + frasco	3772.3	3781.5	3875.8	3967.5
A Peso muestra	869.1	878.3	972.6	1064.3
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7845.8	7848.5	7892.3	7929.6
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2.022</b>	<b>2.013</b>	<b>1.998</b>	<b>1.967</b>
Ing. Gonzalo Velasco C.				

**Figura 62:** Ensayo RICE

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.1.7. Diagrama de diseño



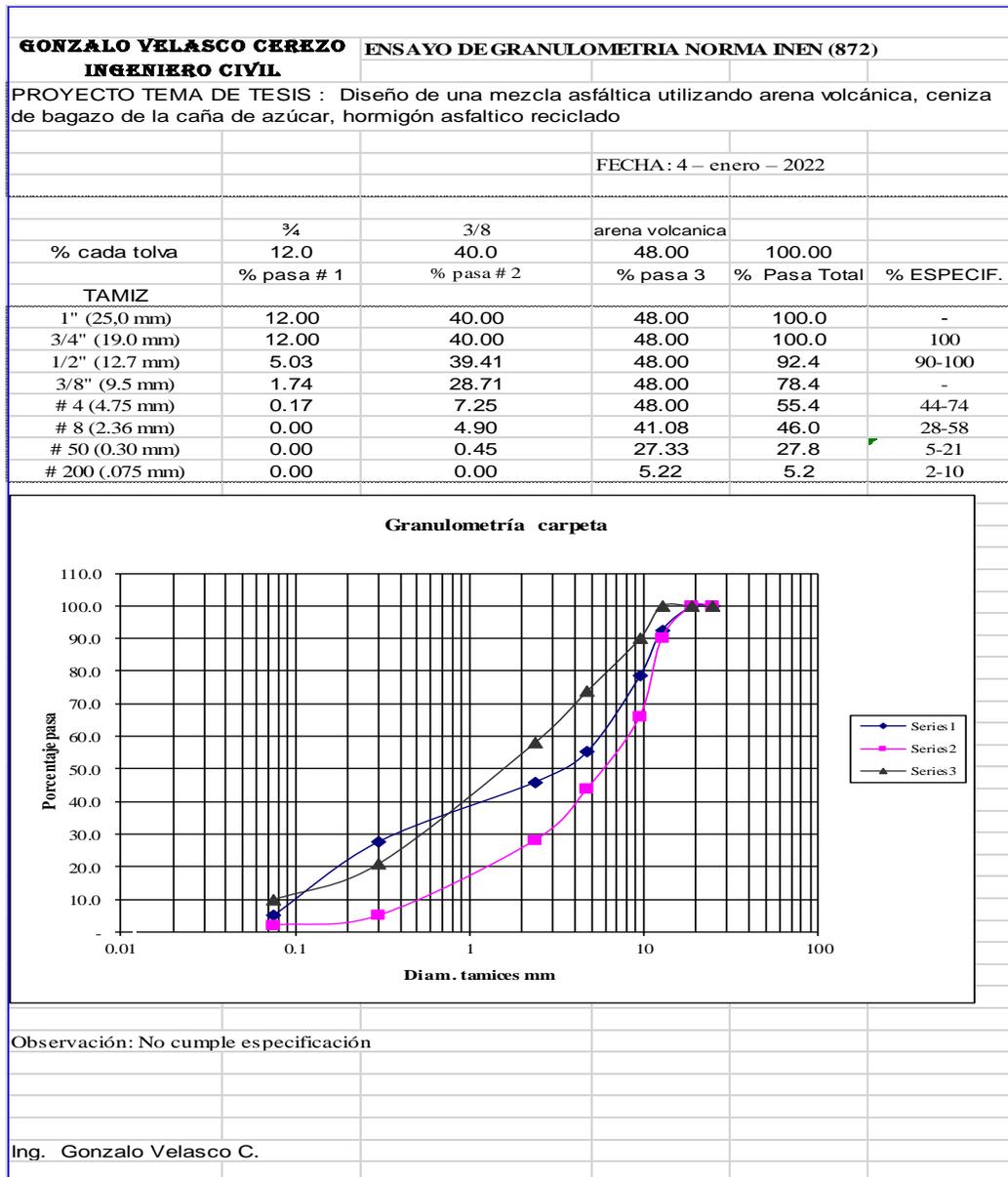
**Figura 63:** Ensayo de diagrama de diseño  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

La realización de este diseño asfáltico con los materiales innovadores no cumple con las especificaciones del ministerio de transporte y obras públicas, para que cumpla con lo requerido es necesario realizar otras combinaciones en sus porcentajes respectivos la combinación que realizaremos sería.

El material asfáltico triturado se lo utilizará el 12% del pasante del  $\frac{3}{4}$ " y 40% del pasante del  $\frac{3}{8}$ " y el material fino tendría un porcentaje del 48% será de arena volcánica 38% y la ceniza de bagazo 10%.

Para estos ensayos se considera los ensayos de abrasión, peso unitario, peso específico por ser el mismo material ya realizado se elaborará su granulometría ya que los porcentajes de sus agregados varían, estos ensayos los presentamos a continuación.

**3.5.4.2. Diseño de mezcla asfáltica utilizando el 12% del pasante del ¾” y 40 del pasante del 3/8” con asfalto reciclado y el 48% con arena volcánica y ceniza de bagazo (38 y 10 %)**



**Figura 64:** Ensayo granulométrico  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.2.1. Ensayo de estabilidad y flujo

GONZALO VELASCO CEREZO INGENIERO CIVIL			ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFALTICO																
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado																			
MATERIAL diseño con asfalto reciclado, arena volcanica y ceniza de bagazo																	FECHA: 4 – enero – 2022		
Gagr. 2.084																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueta	Peso briqueta en gm			Peso específico			Asfalto Absorbido %	Volumen % Total			Vacios en Asfalto Efectivo	%	Peso Unitario lb/pe3	Estabilidad Medida	Corregida	Flujo 0,01"	Factor
			Seca En aire	S.S.S en Aire	En agua	"Bulk" G	Máximo Teórico H	Máximo Medido I		Agregados K	Vacios con Aire L	Asfalto Efectivo M							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
						=d/e-f			$\frac{100-b}{100}$	$\frac{(100-b)*g}{Gagr.}$	$(1-g/l)*100$	$100-k-l$	$100-k$	$\frac{b-j}{100-b}$	62,4*g				
	5.5	6.5	1098.5	1099.7	574.6	2.092										1973	1866.1	7.43	0.95
		6.3	1104.8	1106.2	576.3	2.085										2022	2028.8	7.72	1.00
		6.6	1134.1	1135.4	593.7	2.094										1829	1680.7	7.58	0.92
						2.090	1.969	2.274	7.20	94.8	8.083	-2.870	5.2	-1.308	130.43	1858.5	7.58		
	6	6.5	1143.7	1144.8	606.8	2.126										2113	1998.5	9.11	0.95
		6.4	1120.6	1121.8	596.2	2.132										2176	2119.3	9.23	0.97
		6.6	1096.8	1097.9	584.0	2.134										2287	2101.5	9.31	0.92
						2.131	1.959	2.253	7.07	96.1	5.412	-1.527	3.9	-0.645	132.96	2073.1	9.22		
	6.5	6.3	1098.7	1099.8	585.5	2.136										2234	2241.5	10.73	1.00
		6.6	1120.6	1121.6	597.4	2.138										2337	2147.5	11.24	0.92
		6.4	1076.8	1077.9	574.5	2.139										2289	2229.3	10.96	0.97
						2.138	1.950	2.238	7.07	95.9	4.486	-0.403	4.1	-0.111	133.39	2206.1	10.98		
	7	6.6	1076.8	1077.7	572.9	2.133										2376	2183.3	12.31	0.92
		6.7	1104.8	1106.0	588.1	2.133										2376	2122.1	12.34	0.89
		6.3	1119.4	1120.5	596.4	2.136										2245	2252.5	12.42	1.00
						2.134	1.940	2.230	7.21	95.2	4.314	0.444	4.8	0.291	133.17	2186.0	12.36		
ESPECIFICACIONES:																			
Estabilidad mínima = 1.800 lb																			
Flujo (0.01 plg.) = 8-14																			
% vacios = 3-5			Ing. Gonzalo Velasco C.																

Figura 65: Ensayo de estabilidad y flujo  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

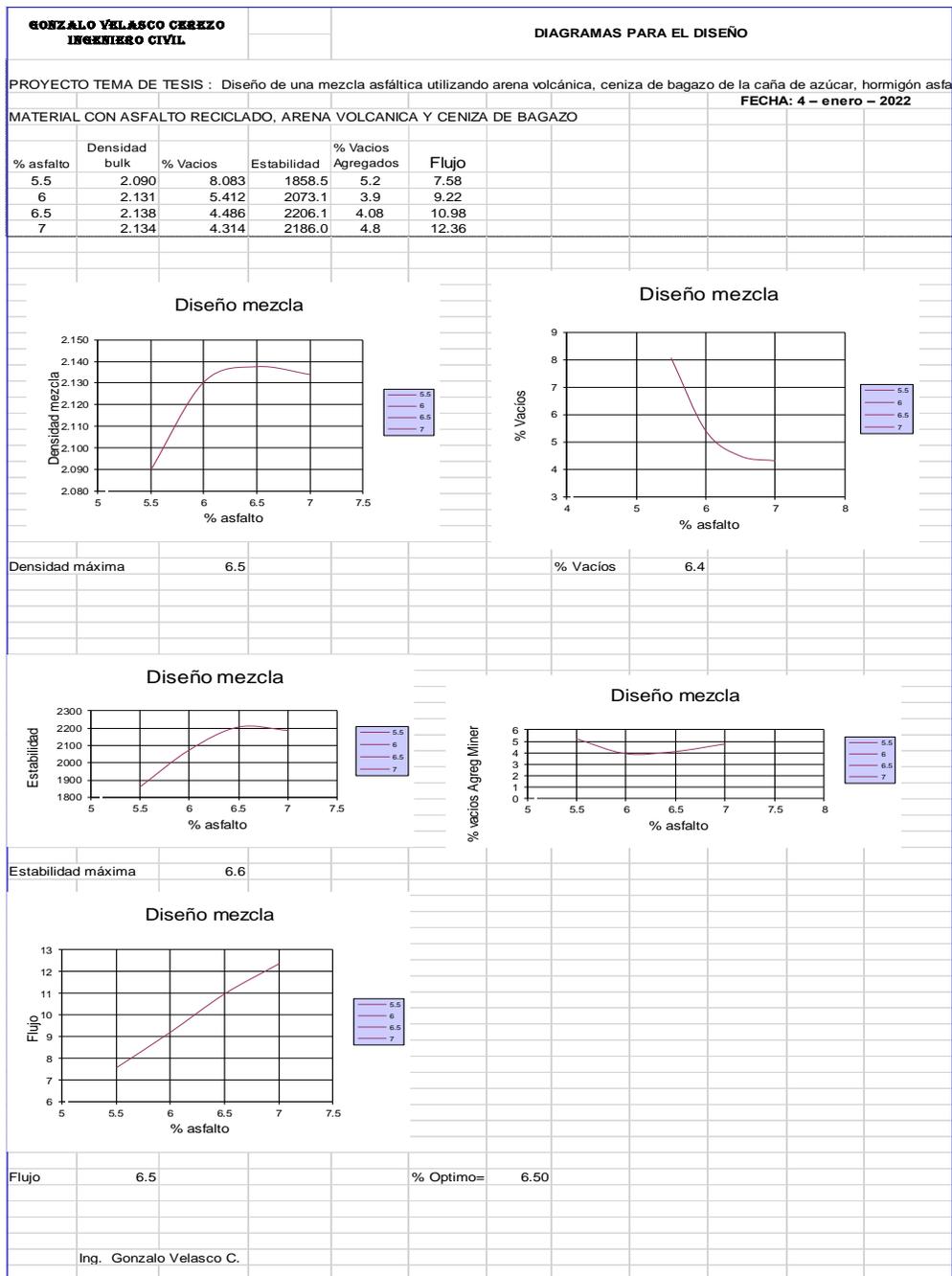
### 3.5.4.2.2. Ensayo RICE

<b>GONZALO VELASCO CEREZO</b> <b>INGENIERO CIVIL</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>		
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado				
FECHA: 4 – enero – 2022				
<b>Determinación Rice Gmm</b>				
% Asfalto	5.5	6	6.5	7
D Peso frasco+agua a 25°C	7406.5	7406.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2903.2	2903.2	2903.2
Peso muestra + frasco	4076.8	3976.8	4093.2	4022.8
A Peso muestra	1173.6	1073.6	1190	1119.6
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8064	8003.5	8064.8	8024.1
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2.274</b>	<b>2.253</b>	<b>2.238</b>	<b>2.230</b>
Ing. Gonzalo Velasco C.				

**Figura 66:** Ensayo RICE

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.2.3. Diagrama de diseño



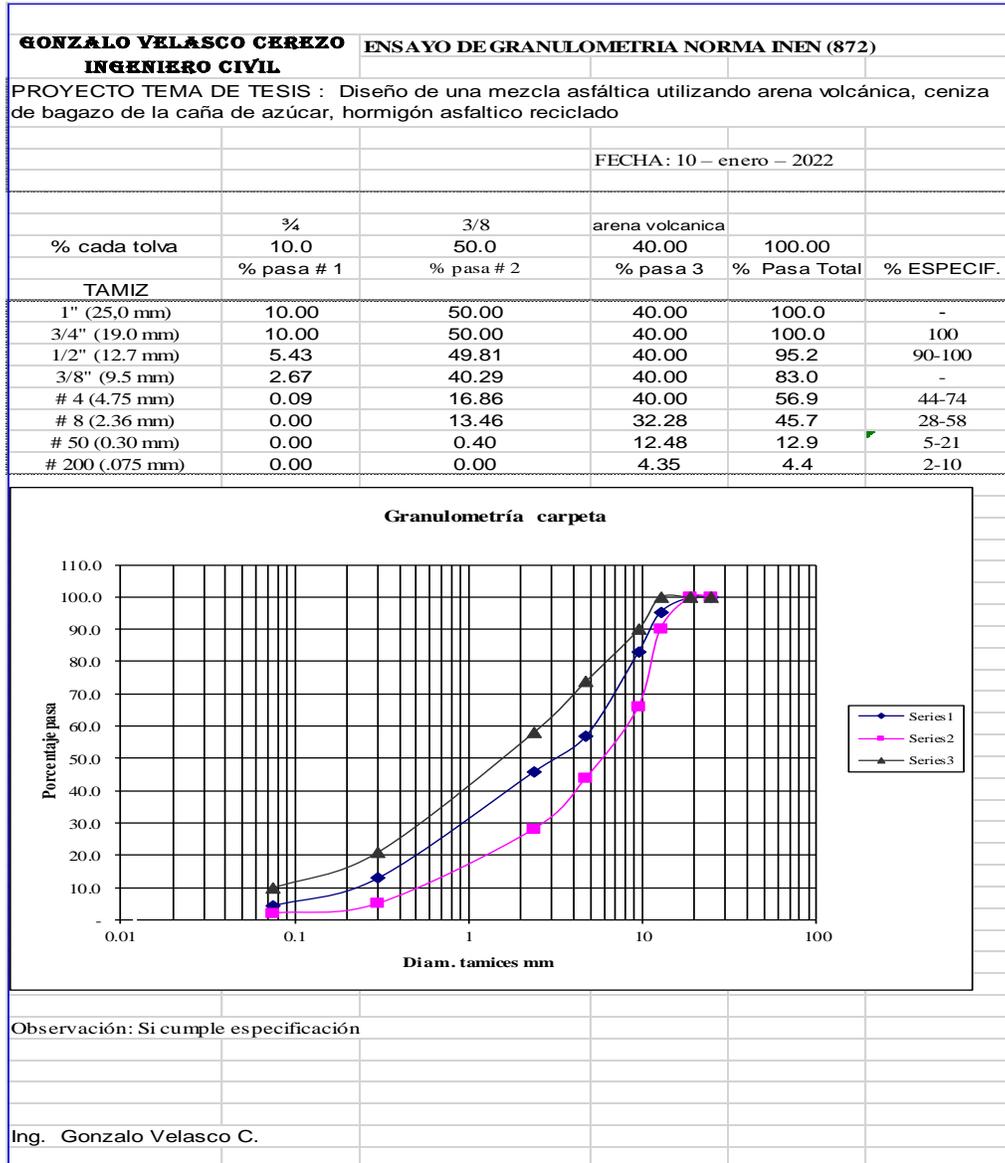
**Figura 67:** Ensayo de diagrama de diseño  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

Los resultados de este diseño, nos da resultados satisfactorios en su estabilidad y flujo, pero en su granulometría no cumple, toca mejorarlo para que cumpla con este tema investigativo

La combinación que realizaremos sería, El material asfáltico triturado se lo utilizará el 10% del pasante del  $\frac{3}{4}$ " y 50% del pasante del  $\frac{3}{8}$ " y el material fino tendría un porcentaje del 40% será de arena volcánica 35% y la ceniza de bagazo 5%.

Para estos ensayos se considera los ensayos de abrasión, peso unitario, peso específico por ser el mismo material ya realizado se elaborará su granulometría ya que los porcentajes de sus agregados varían, estos ensayos los presentamos a continuación.

**3.5.4.3. Diseño de mezcla asfáltica utilizando el 10% del pasante del ¾” y 50 del pasante del 3/8” con asfalto reciclado y el 40% con arena volcánica y ceniza de bagazo (35 y 5 %).**



**Figura 68:** Ensayo granulométrico  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.3.1. Ensayo de estabilidad y flujo

GONZALO VELASCO CERREZO INGENIERO CIVIL			ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DEL HORMIGON ASFALTICO																
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado																			
MATERIAL diseño con asfalto reciclado, arena volcánica y ceniza de bagazo																			
FECHA: 10 – enero – 2022																			
Gagr. 2.125																			
Fecha	% asfalto	Espesor Briqueta	Peso briqueta en gm			Peso específico			Asfalto Absorbido %	Volumen % Total			Vacíos en Agregados Mnerales	%	Peso Unitario lb/pie3	Estabilidad Medida	Flujo 0,01"	Factor	
			Seca En aire	S.S.S en Aire	En agua	"Bulk"	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacíos con Aire	Asfalto Efectivo							% Efectivo
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
						=d/e-f			$=(h-h')*10^{-4}$	$(100-b)*g$	$(1-g/l)*100$	$100-k-l$	$100-k$	$=b-j(100-b)$	62,4*g				
	5.5	6.5	1198.5	1099.7	550.6	2.183										2326	2199.9	7.43	0.95
		6.3	1174.8	1106.2	566.3	2.176										2211	2218.4	7.72	1.00
		6.6	1194.1	1135.4	583.7	2.164										2398	2203.5	7.58	0.92
						2.174	2.004	2.274	6.28	96.7	4.382	-1.080	3.3	-0.431	135.68	2207.3	7.58		
	6	6.5	1243.7	1144.8	576.8	2.190										2427	2295.5	9.11	0.95
		6.4	1180.6	1121.8	586.2	2.204										2378	2316.0	9.23	0.97
		6.6	1196.8	1097.9	558.0	2.217										2482	2280.7	9.31	0.92
						2.204	1.993	2.296	7.04	97.5	4.033	-1.511	2.5	-0.614	137.50	2297.4	9.22		
	6.5	6.3	1198.7	1099.8	565.5	2.243										2347	2354.8	10.73	1.00
		6.6	1220.6	1121.6	577.4	2.243										2561	2353.3	11.24	0.92
		6.4	1176.8	1077.9	555.5	2.253										2417	2354.0	10.96	0.97
						2.246	1.983	2.304	7.52	98.8	2.516	-1.360	1.2	-0.528	140.17	2354.0	10.98		
	7	6.6	1176.8	1077.7	552.9	2.242										2548	2341.4	12.31	0.92
		6.7	1194.8	1106.0	571.1	2.234										2587	2310.6	12.34	0.89
		6.3	1219.4	1120.5	576.4	2.241										2331	2338.8	12.42	1.00
						2.239	1.973	2.300	7.75	98.0	2.658	-0.654	2.0	-0.209	139.72	2330.2	12.36		
ESPECIFICACIONES:																			
Estabilidad mínima = 1.800 lb																			
Flujo (0.01 plg.) = 8-14																			
% vacíos = 3-5																			
			Ing. Gonzalo Velasco C.																

Figura 69: Ensayo de estabilidad y flujo  
Elaborado por: Choez. M y Pacheco, W. (2022)

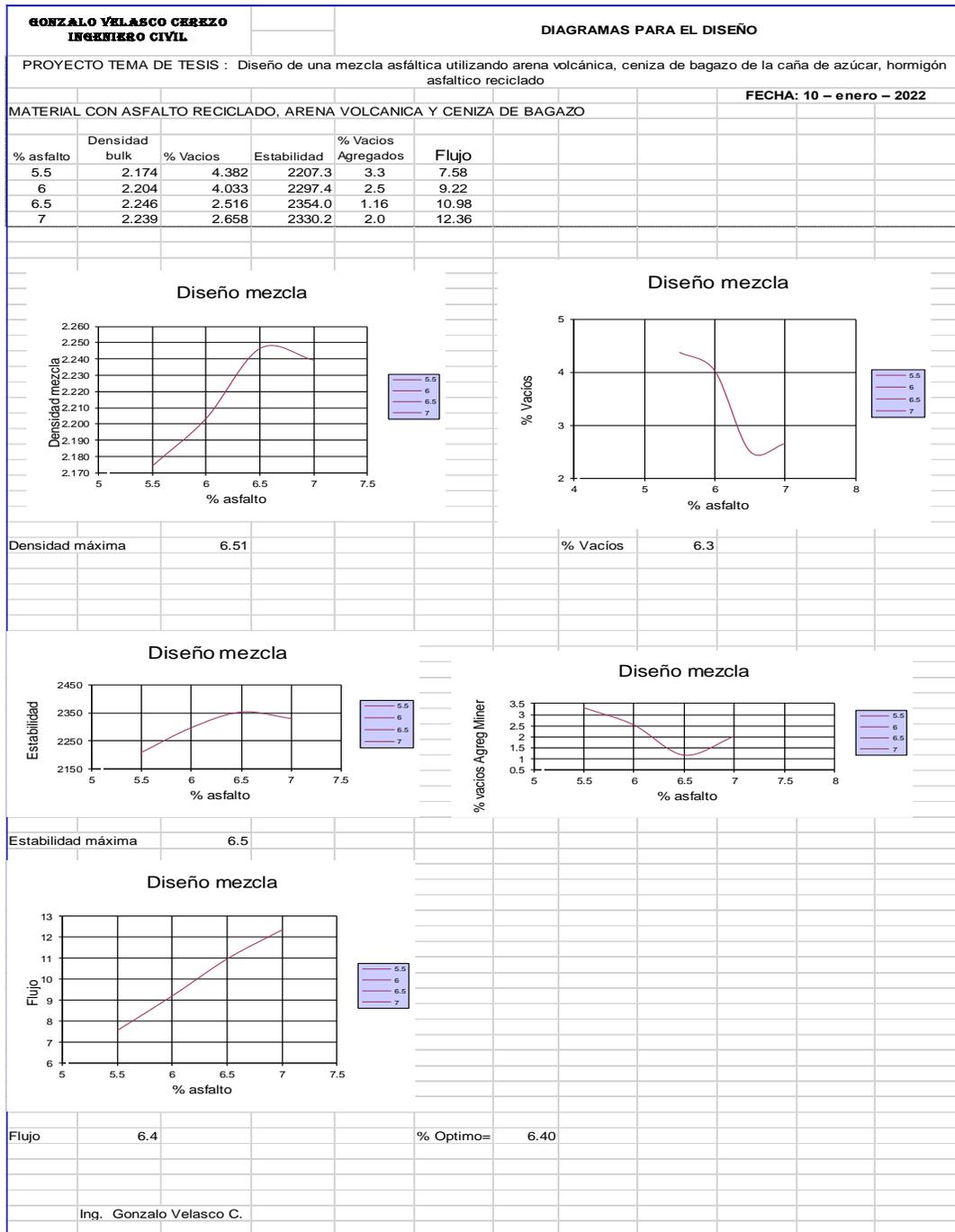
### 3.5.4.3.2. Ensayo RICE

<b>GONZALO VELASCO CEREZO INGENIERO CIVIL</b>	<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>			
PROYECTO TEMA DE TESIS : Diseño de una mezcla asfáltica utilizando arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar, hormigón asfáltico reciclado				
		FECHA: 10 – enero – 2022		
<b>Determinación Rice Gmm</b>				
% Asfalto	5.5	6	6.5	7
D Peso frasco+agua a 25°C	7406.5	7406.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2899.2	2890.2	2896.2
Peso muestra + frasco	4076.8	3956.8	4053.2	3988.8
A Peso muestra	1173.6	1057.6	1163	1092.6
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8064	8003.5	8064.8	8024.1
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2.274</b>	<b>2.296</b>	<b>2.304</b>	<b>2.300</b>
Ing. Gonzalo Velasco C.				

**Figura 70:** Ensayo RICE

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.4.3.3. Diagrama de diseño



**Figura 71:** Ensayo de diagrama de diseño  
**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

### 3.5.5. Cuadro de resumen

RESUMEN DE LOS DISEÑOS ASFÀLTICOS ESTUDIADOS						
Diseño	% asfalto	Densidad bulk	% Vacios	Estabilidad	% Vacios Agregados	Flujo
Tradicional	6.1	2.185	2.9182	2516.2	24.21	10.17
Con asfalto triturado 47%, arena volcanica 38% y ceniza de bagazo 15%	6.7	1.936	2.5061	1769.7	12.96	9.14
Con asfalto triturado 52%, arena volcanica 38% y ceniza de bagazo 10%	6.5	2.138	4.4863	2206.1	4.08	10.98
Con asfalto triturado 60%, arena volcanica 35% y ceniza de bagazo 5%	6.4	2.238	2.819	2342.7	1.429	10.62

**Figura 72:** Cuadro de resumen

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

Ensayos de acuerdo al método Marshall	T R A F I C O					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Nº de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800	--	1.200	--	750	--
Flujo (pulgada/100)	8	16	8	18	8	20
% vacíos con aire:						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota: % de Vacíos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo con el gráfico actualizado del Instituto del Asfalto.

**Figura 73:** Cuadro de valores requeridos para el diseño asfáltico

**Elaborado por:** Choez. M y Pacheco, W. (2022)

## Conclusión

- Para la realización del primer objetivo específico, como es determinar las características y técnicas de la arena volcánica, como parte del diseño asfáltico la arena tradicional del diseño asfáltico patrón es reemplazada su porcentaje por la arena volcánica, para esto se realizó la clasificación de este material el cual nos dio que es una Arena limosa fina gris verdosa de clasificación SUCS SM y AASHTO A-1-a con un pasante del tamiz N° 4 100% y el pasante del tamiz N° 200 14% y su plasticidad no plástico N-P .
- Para la realización del segundo objetivo específico, definir las características técnicas de la ceniza proveniente del bagazo de la caña de azúcar, este material se lo utiliza como puzolana en el hormigón para evitar las figuras, se lo utiliza en porcentajes mínimos por ser un material de baja densidad, por este motivo se realizó el ensayo de peso unitario el cual nos dio resultado de peso unitario suelto  $666 \text{ kg/m}^3$  y peso unitario compactado  $699 \text{ kg/m}^3$  este material innovador será considerado como parte del agregado fino.
- Para la realización del tercer objetivo específico, identificar las características técnicas del hormigón asfáltico a reciclar, como parte del diseño asfáltico a realizar consideraremos el material asfáltico reciclado como el agregado grueso para esto a este material realizamos los ensayos de clasificación dando la siguiente nomenclatura grava arenosa limosa gris oscura de clasificación SUCS GP y AASHTO A-1-a con un pasante del tamiz N° 4 29,6% y el pasante del tamiz N° 200 2,5% y su plasticidad es no plástico N-P, con estos datos podemos utilizar como material grueso, los ensayos de abrasión está en el diseño tradicional con material innovador propuesto en esta tesis.
- Para la realización del cuarto objetivo específico, calcular las dosificaciones para una mezcla en arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfalto reciclado, para realizar este objetivo nos basamos en las proporciones del agregado grueso y agregado fino para el diseño asfáltico tradicional, estos porcentajes lo utilizamos con los materiales innovadores propuesto, para el primer

diseño se utilizó: material asfáltico triturado se lo utilizara el 17% del pasante del  $\frac{3}{4}$ " y 30 del pasante del  $\frac{3}{8}$ " y la arena que tiene un porcentaje del 53% será reemplazada por la arena volcánica 38% y la ceniza de bagazo 15%., el segundo diseño los porcentajes son, material asfáltico triturado se lo utilizara el 12% del pasante del  $\frac{3}{4}$ " y 40% del pasante del  $\frac{3}{8}$ " y el material fino tendría un porcentaje del 48% será de arena volcánica 38% y la ceniza de bagazo 10%, y el tercer diseño los porcentajes son, material asfáltico triturado se lo utilizara el 10% del pasante del  $\frac{3}{4}$ " y 50% del pasante del  $\frac{3}{8}$ " y el material fino tendría un porcentaje del 40% será de arena volcánica 35% y la ceniza de bagazo 5%.

- Para la realización del quinto objetivo específico, determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con la arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfáltico reciclado, la primera mezcla no cumple con lo requerido su granulometría no está dentro de los parámetros permitidos así como su estabilidad es inferior al mínimo requerido y el porcentaje de asfalto es alto 6.7 %, la segunda mezcla tampoco cumple en su granulometría en la parte fina esta fuera de los parámetros requeridos y la tercera mezcla si cumple con lo requerido su granulometría está dentro de los parámetros requeridos su estabilidad es de 2343 y el porcentaje de asfalto es 6,4% , cumple para su utilización para tráfico pesado como se presenta en el cuadro de resumen.

## **Recomendación**

- Con respecto al primer objetivo, como es determinar las características y técnicas de la arena volcánica, se recomienda que la Universidad Laica Vicente Rocafuerte acondicione con más equipos el laboratorio de suelo para poder realizar varios ensayos de clasificación (humedad, granulometría y límites si es el caso), densidad y peso específico que ayuden a tener muchos datos, los cuales servirán para trabajar con datos más reales ya que se contara con muchos resultados de este material innovador.
- Con respecto al segundo objetivo, definir las características técnicas de la ceniza proveniente del bagazo de la caña de azúcar, es necesario realizar ensayos químicos a este material ya que es un material orgánico y al estar expuesta a varios factores climáticos puede con el tiempo descomponerse y deteriorar el pavimento, y hay que buscar soluciones para dar una utilidad acorde a nuestras necesidades en el área de la construcción.
- Con respecto al tercer objetivo, identificar las características técnicas del hormigón asfáltico a reciclar, se recomienda realizar más ensayos al asfalto reciclado que tengan diversos porcentajes de asfalto y agregados para obtener varios datos que ayuden a determinar con mayor exactitud realizar las características técnicas que tenga el hormigón asfáltico reciclado.
- Con respecto al cuarto objetivo, calcular las dosificaciones para una mezcla en arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfalto reciclado, se recomienda realizar mezclas con proporciones más pequeñas para obtener un cuadro de resultados que nos ayuden a recomendar que dosificación se debe recomendar para un diseño asfáltico y sus porcentajes es más recomendable para un determinado proyecto.

➤ Con respecto al quinto objetivo, determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con la arena volcánica, ceniza de bagazo de la caña de azúcar y hormigón asfáltico reciclado, se recomienda revisar todos los ensayo de cada diseño asfáltico con cada porcentaje de material utilizado, para determinar la estabilidad y el desgaste que tendría cada diseño al utilizar estos materiales innovadores.

## Bibliografía

- Acosta, D., & Reyes, I. (1 de febrero de 2021). <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/8/13>. Recuperado el 2021, de rcc.cujae.edu.cu/.
- Alonso, J. (octubre de 2017). <https://asfaltomadrid.com/asfalto-verde-reciclado/>. Recuperado el diciembre de 2021, de asfaltomadrid.com/ web site.
- Aristizabal, J., & Mendoza, N. (12 de marzo de 2017). <https://www.revistaespacios.com/a17v38n32/a17v38n32p22.pdf>. Recuperado el 2021, de revistaespacios.com.
- Arrieta, E. (21 de enero de 2019). *diferenciador*. Recuperado el 2020, de diferenciador web site: <https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-metodo-inductivo-y-deductivo/>
- Baquero, L., & Baquero, J. (11 de julio de 2018). <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2262/1/T-ULVR-2059.pdf>. Recuperado el 2021, de http://repositorio.ulvr.edu.ec/ web site.
- barchitec. (18 de diciembre de 2017). <https://barchitec.com/2017/12/18/definiendo-el-alcance-de-una-investigacion-exploratoria-descriptiva-correlacional-o-explicativa/>. Recuperado el 2021, de barchitec.com/.
- Bravo, H., & Logroño, A. (30 de diciembre de 2020). <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2969/3098>. Recuperado el 2021, de revistas.utm.edu.ec.
- Contreras, Y., & Roa, M. (26 de abril de 2015). *tecnica e instrumento de investigacion*. Recuperado el 2020, de tecnica e instrumento de investigacion web site: <http://tecnicasdeinvestigacion2015.blogspot.com/2015/04/bienvenidos-nuestro-blogger.html>
- Estrada, V. (2017). [file:///C:/Users/Marcos/Downloads/V%C3%ADctor\\_Tesis\\_bachiller\\_2017.pdf](file:///C:/Users/Marcos/Downloads/V%C3%ADctor_Tesis_bachiller_2017.pdf). Recuperado el 2021, de Marcos/Downloads/ web site.
- Freire, K. (2018). <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15089/TESIS-%20MEZCLA%20ASFALTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Recuperado el 2021, de <http://repositorio.puce.edu.ec/> web site.
- German, S. (2019).
- Guerrero, S. (2020). [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4609/ICI\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4609/ICI_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Recuperado el diciembre de 2021, de pirhua.udep.edu.pe web site.
- HERNANDEZ. (2014). MEXICO.

- Hernandez, R., Baptista, P., & Fernandez, C. (2015). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F., Mexico: Mc Graw Hill education. Recuperado el marzo de 2020, de <https://es.slideshare.net/MarianaAndreaDlaPaz/hernandez-fernandez-baptista-i-49915464>
- INEN. (2015).
- Jimenez, C. (2017). <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25151/1/Tesis%201104%20-%20Jim%C3%A9nez%20Rojano%20Cristian%20Elias.pdf>. Recuperado el 2021, de <http://repositorio.uta.edu.ec/> web site.
- Library. (28 de mayo de 2021). <https://1library.co/document/y6owwx4y-informe-marshall.html>. Recuperado el diciembre de 2021, de [1library.co/](https://1library.co/) web site.
- Mata, L. (7 de mayo de 2019). *investigalia*. Recuperado el 2021, de *investigalia* web site: <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-de-investigacion-la-naturaleza-del-estudio/>
- Nogueira, F., & Marden, S. (30 de enero de 2018). [file:///C:/Users/Marcos/Downloads/187-Original%20Article%20Text-1090-2-10-20180201%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Marcos/Downloads/187-Original%20Article%20Text-1090-2-10-20180201%20(2).pdf). Recuperado el 2021, de [Downloads/187-Original%20Article%20Text-1090-2-10-20180201%20\(2\).pdf](Downloads/187-Original%20Article%20Text-1090-2-10-20180201%20(2).pdf) web site.
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe. . (17 de Febrero de 2013). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas : <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-del-buen-vivir-2013-2017-de-ecuador>
- Paccori, F. (2018). [https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/804/T037\\_46858774\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/804/T037_46858774_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Recuperado el 2021, de [repositorio.upla.edu.pe](https://repositorio.upla.edu.pe) web site.
- Pastor, H. (2017). [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/29333/pastor\\_sh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/29333/pastor_sh.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Recuperado el 2021, de [repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe) web site.
- QuimiNet. (febrero de 2017). <https://www.quiminet.com/articulos/como-se-forma-la-arena-volcanica-41511.htm>. Recuperado el diciembre de 2021, de [/www.quiminet.com/](https://www.quiminet.com/) web site.
- Revelo, C. (2016). <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23505/1/Tesis%201027%20-%20Revelo%20Andrade%20Christian%20Javier.pdf>. Recuperado el 2021, de [repositorio.uta.edu.ec](https://repositorio.uta.edu.ec) web site.
- Robinson, B., & Chochon, V. (27 de febrero de 2020). [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6001/balbin\\_ar-](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6001/balbin_ar-)

*chochon\_gvh.pdf?sequence=1&isAllowed=y*. Recuperado el 2021, de [repositorio.usmp.edu.pe](http://repositorio.usmp.edu.pe).

Rojas, A. (septiembre de 2017). *Investigacion e inovacion metodologica*. Recuperado el 2021, de Investigacion e inovacion metodologica web site:  
[http://investigacionmetodologicaderojas.blogspot.com/2017/09/poblacion-y-muestra.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Fern%C3%A1ndez%20y%20Baptista,con%20determinadas%20especificaciones%E2%80%9D%20\(p.&text=poblaci%C3%B3n%20un%20conjunto%20finito%](http://investigacionmetodologicaderojas.blogspot.com/2017/09/poblacion-y-muestra.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Fern%C3%A1ndez%20y%20Baptista,con%20determinadas%20especificaciones%E2%80%9D%20(p.&text=poblaci%C3%B3n%20un%20conjunto%20finito%)

Rojas, M. (octubre de 2019). *file:///C:/Users/Marcos/Downloads/ArticuloCBC2019.pdf*. Recuperado el diciembre de 2021, de [.researchgate.net/](http://researchgate.net/) web site.

Romero, C. (2017).  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26397/1/Tesis%201159%20-%20Romero%20Bayas%20Cristina%20Isabel.pdf>. Recuperado el 2021, de [repositorio.uta.edu.ec](http://repositorio.uta.edu.ec).

Santa Cruz, P. (2021).  
*file:///C:/Users/Marcos/Downloads/IV\_FIN\_105\_TE\_SantaCruz\_Veliz\_2021%20(1).pdf*. Recuperado el 2021, de [Users/Marcos/Downloads](http://Users/Marcos/Downloads) web site.

Secretaria Nacional de Educación superior ciencia, tecnología e innovación. (06 de 04 de 2012). Reglamento de selección y adjudicación de programas y/o proyectos de investigación científica y desarrollo tecnologico (I+D) financiados o cofinanciados por la secretaria nacional de educacion superior, ciencia, tecnologia e innovacion - codificado. *Reglamento de selección y adjudicación de programas y/o proyectos de investigación científica y desarrollo tecnologico (I+D) financiados o cofinanciados por la secretaria nacional de educacion superior, ciencia, tecnologia e innovacion - codificado*. Quito, Pichincha, Ecuador: RENÉ RAMÍREZ GALLEGOS SECRETARIO NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR,.

universidad laica vicente rocafuerte. (10 de febrero de 2019). *universidad laica vicente rocafuerte*. Recuperado el 2020, de [universidad laica vicente rocafuerte web site](http://universidad laica vicente rocafuerte web site):  
[https://www.ulvr.edu.ec/static/uploads/pdf/file\\_1556661631.pdf](https://www.ulvr.edu.ec/static/uploads/pdf/file_1556661631.pdf)

Yepez, V. (octubre de 2017). <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/03/20/que-es-una-recicladora-de-asfalto/>. Recuperado el diciembre de 2021, de [victoryepes.blogs.upv.es/](http://victoryepes.blogs.upv.es/) web site.