

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Proyecto:

**“INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO VÍA SECA EN MEZCLA
ASFÁLTICA CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DEL CANTÓN
GUAMOTE”**

AUTORES:

Cecilia Brigith Escobar Guzmán

Oscar Javier Zumba Ponce

TUTOR:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza

Riobamba – Ecuador

Año 2021

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO VÍA SECA EN MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DEL CANTÓN GUAMOTE”** presentado por Cecilia Brighth Escobar Guzmán y Oscar Javier Zumba Ponce y dirigida por: Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Hernán V. Pazmiño, MsC.



Tutor de Tesis

Firma

Ing. Víctor J. García, PhD.



Miembro del tribunal

Firma

Ing. Víctor R. Velásquez, MsC.



Miembro del tribunal

Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Hernán V. Pazmiño, MsC.**, en calidad de Tutor de Tesis que lleva como título: **“INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO VÍA SECA EN MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS PÉTREOS DEL CANTÓN GUAMOTE”**, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los estudiantes Cecilia Brighth Escobar Guzmán y Oscar Javier Zumba Ponce para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.



Ing. Hernán V. Pazmiño, MsC.

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a Cecilia Brighth Escobar Guzmán, Oscar Javier Zumba Ponce e Ing. Vladimir Pazmiño. Y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....

Srta. Cecilia Brighth Escobar Guzmán

C.I. 1550020836



.....

Sr. Oscar Javier Zumba Ponce

C.I. 0604053504

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía y fuerza para salir adelante y permitirme cumplir cada una de mis metas.

A mis padres Luis Gonzalo Escobar Villena y Mausi Raqueli Guzmán Jiménez que son el motor principal de mi vida, que con su apoyo incondicional y consejos me han sabido guiar por el camino del bien.

A mi hermana Evelyn quien ha estado presente en todo momento y me ha brindado su apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria, de igual manera a mis hermanos Luis, Carlos, Daniel, Edgar y Juan quienes son mis compañeros de vida.

Al Ing. Vladimir Pazmiño que con sus conocimientos y tutoría nos ha colaborado en el desarrollo de esta investigación, así también al Ing. Víctor Llanga por brindarnos la apertura de su laboratorio para realizar los ensayos. A Oscar Zumba por brindarme su apoyo y ser parte de este reto, de igual manera a mis amigos/as y docentes que han estado a lo largo de mi carrera universitaria.

Cecilia Brigith Escobar Guzmán

DEDICATORIA

A mis padres, por brindarme su apoyo para cumplir mis metas, a mis hermanos, sobrinos Angel y Alexis por su cariño y demostraciones de afecto.

A mi abuelita Delia Judith Jiménez Llanos, por brindarme su cariño y consejos para sobresalir y luchar por mis objetivos, sé que desde el cielo me protege y bendice cada una de mis metas, de igual manera a mi abuelito Fausto Fortunato Guzmán Ulloa que a pesar de las adversidades lucha cada día y me brinda su apoyo y sabiduría.

Cecilia Brigith Escobar Guzmán

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser una guía en mi camino.

A mis padres que han sido el pilar fundamental para poder llegar a esta instancia en mis estudios, pues siempre están presentes con su esfuerzo y sacrificio en cada momento de mi vida.

A mi hermana Andrea porqué cuando esta meta parecía imposible estuvo ahí, alentándome a que siga.

A mi sobrina Dannita por estos años de felicidad en mi vida, siendo mi mayor inspiración para salir adelante.

A Vladimir Pazmiño con cada uno de sus conocimientos durante esta investigación, Victor Llanga quién nos facilitó las instalaciones de su laboratorio, Victor Santillan por su ayuda y consejos cada día, Cecilia Escobar gran amiga durante la carrera.

A mis familiares que siempre estuvieron al pendiente, amigos dentro y fuera de la universidad quienes me apoyaron en esta gran experiencia estudiantil, un eterno Dios les pague.

Oscar Javier Zumba Ponce

DEDICATORIA

A Dios por derramar bendiciones sobre mí, ya que ha sabido guiarme por el buen camino, dándome la fuerza necesaria para vencer todos los obstáculos que se me han presentado.

A mi madre Laila que con su amor a lo largo de mi vida ha sabido corregir mis fallas y celebrar mis logros, sin usted muchas cosas no hubiesen sido logradas.

A mi padre Ramiro quien me ha inculcado la perseverancia y valor, enseñándome a entregarme por completo cuando realice una actividad, a ser fuerte en la vida, donde te tenga Dios se que sigues al pendiente de mí.

A mi hermana y sobrina quien cada día son mis ganas de seguir adelante y ejemplo de vida.

Lo logramos familia.

Oscar Javier Zumba Ponce

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Mezclas asfálticas convencionales.....	4
3.2. Componentes de una mezcla asfáltica.....	4
3.2.1. Agregados	4
3.2.2. Ligante bituminoso	5
3.3. Propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada	7
3.3.1. Gravedad Específica Máxima Medida RICE (Gmm).....	7
3.3.2. Vacíos de Aire (Vv)	7
3.3.3. Vacíos de agregado mineral (VAM).....	8
3.3.4. Gravedad Especifica Bulk (Gsb)	8

3.4. Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	8
3.4.1. Estabilidad.....	8
3.4.2. Flujo	9
3.5. Reciclaje.....	10
3.6. Tereftalato de polietileno (PET).....	11
3.6.1. Propiedades del PET.....	12
3.7. Mezclas asfálticas modificadas	13
3.7.1. Ventajas y desventajas de mezclas asfálticas modificadas con plástico	13
4. METODOLOGÍA.....	15
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1. Reciclaje mecánico de plásticos.....	18
5.2. Diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	18
5.2.1. Ensayos realizados al ligante bituminoso	18
5.2.2. Ensayos realizados a los agregados pétreos	20
5.2.3. Ensayo de Estabilidad y Flujo - Marshall.....	22
5.2.4. Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional	23
5.3. Dosificación óptima para la mezcla asfáltica caliente con PET.....	23
5.3.1. Estructura mineral óptima + PET	23
5.3.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo de la muestra con PET.....	24
5.4. Propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica	25

5.4.1. Propiedades volumétricas de la muestra convencional	25
5.4.2. Propiedades volumétricas de la muestra con PET	29
6. CONCLUSIONES	32
7. RECOMENDACIONES.....	33
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	34
9. ANEXOS	40
Anexo 1. Especificaciones del ligante bituminoso	40
Anexo 2. Briqueta con exceso de plástico	40
Anexo 3. Socialización de la investigación	41
Anexo 4. Cronograma de actividades.....	42
Anexo 5. Encuesta	42
Anexo 6. Tabulación de datos de la encuesta	44
Anexo 7. Contenido de humedad.....	48
Anexo 8. Peso específico y Absorción	49
Anexo 9. Masas unitarias sueltas y compactas del material pétreo	50
Anexo 10. Abrasión o desgaste de los agregados	51
Anexo 11. Caras fracturadas.....	52
Anexo 12. Partículas planas y alargadas.....	53
Anexo 13. Resistencia a los sulfatos.....	54
Anexo 14. Pesos y medidas	55

Anexo 15. Gravedad Específica Máxima Medida RICE (Gmm)	56
Anexo 16. Gravedad específica BULK (Gsb)	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Marshall para mezcla asfáltica en caliente.....	9
Tabla 2. Vacíos mínimos en el agregado mineral.....	9
Tabla 3. Propiedades del PET	12
Tabla 4. Métodos aplicados en los ensayos	16
Tabla 5. Porcentaje de bitumen para la mezcla convencional	17
Tabla 6. Porcentaje de PET para la mezcla modificada.....	17
Tabla 7. Penetración del ligante bituminoso	19
Tabla 8. Punto de inflamación	20
Tabla 9. Granulometría del material pétreo y PET	21
Tabla 10. Estructura mineral óptimo de la mezcla convencional	22
Tabla 11. Estabilidad y Flujo de la mezcla convencional.....	22
Tabla 12. Fórmula de la mezcla convencional.....	23
Tabla 13. Estructura mineral óptima + PET	24
Tabla 14. Estabilidad y Flujo de la mezcla con PET	25
Tabla 15. Fórmula de la mezcla modificada	25
Tabla 16. Propiedades volumétricas de la mezcla convencional	26
Tabla 17. Propiedades volumétricas de la muestra con PET	29
Tabla 18. Especificaciones del ligante bituminoso.....	40
Tabla 19. Cronograma de actividades.....	42
Tabla 20. Material con el cual se fabrican las botellas de plástico desechables	44
Tabla 21. Proceso de reciclaje mecánico	45
Tabla 22. Ventaja de reciclar plástico tipo PET.....	46

Tabla 23. Cantidad de plástico que se genera en la ciudad de Riobamba.....	46
Tabla 24. Conocimiento sobre la construcción de carreteras con plástico reciclado.....	47
Tabla 25. Conocimiento sobre el correcto manejo y tratamiento de plástico tipo PET.....	48
Tabla 26. Contenido de humedad del material pétreo	49
Tabla 27. Peso Específico y Absorción del material pétreo	50
Tabla 28. Masas Unitarias de los agregados pétreos	50
Tabla 29. Abrasión o Desgaste del material pétreo	51
Tabla 30. Caras Fracturadas del material pétreo.....	52
Tabla 31. Partículas planas y alargadas de los agregados	53
Tabla 32. Resistencia a los sulfatos de los agregados pétreos	54
Tabla 33. Pesos y medidas de la muestra convencional	55
Tabla 34. Pesos y medidas de la muestra con porcentajes variados de PET	56
Tabla 35. Gmm RICE de la mezcla convencional.....	56
Tabla 36. Gmm RICE de la mezcla con PET	56
Tabla 37. Gravedad específica BULK de la mezcla convencional.....	57
Tabla 38. Gravedad específica BULK de la mezcla + PET.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Realización de la mezcla asfáltica caliente convencional	4
Figura 2. Trituración y cribado del material pétreo procedente de Guamote	5
Figura 3. Ligante bituminoso (AC-20)	5
Figura 4. Ensayo punto de chispa y llama	6
Figura 5. Ensayo Estabilidad y Flujo - Marshall	7
Figura 6. Estabilidad vs % Bitumen	8
Figura 7. Flujo vs % Bitumen.....	9
Figura 8. Proceso mecánico de trituración del PET.....	10
Figura 9. Origen del PET.....	11
Figura 10. Estructura química del tereftalato de polietileno.....	11
Figura 11. Tereftalato de polietileno (PET).....	12
Figura 12. Agregados pétreos + PET para mezcla asfáltica	13
Figura 13. Flujo de trabajo.....	15
Figura 14. Penetración del ligante bituminoso	19
Figura 15. Punto de inflamación del ligante	20
Figura 16. Granulometría del material pétreo y PET.....	21
Figura 17. Curva Granulométrica de la estructura mineral para mezcla asfáltica.....	22
Figura 18. Estabilidad y Flujo - Marshall	23
Figura 19. Curva granulométrica de la estructura mineral + PET para mezcla asfáltica	24
Figura 20. Porcentaje de vacíos vs % bitumen	26
Figura 21. Estabilidad vs % bitumen.....	27
Figura 22. Flujo vs % Bitumen.....	27

Figura 23. Gravedad específica BULK vs % Bitumen	28
Figura 24. Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs % Bitumen.....	28
Figura 25. Flujo vs %PET.....	29
Figura 26. Estabilidad vs %PET	30
Figura 27. Gravedad específica Bulk vs %PET.....	30
Figura 28. Porcentaje de vacíos de aire vs %PET	31
Figura 29. Porcentaje de vacíos de agregado mineral vs %PET	31
Figura 30. Briqueta con exceso de plástico	40
Figura 31. Socialización del tema de investigación.....	41
Figura 32. Material de las botellas de plástico.....	44
Figura 33. Proceso del reciclaje mecánico.....	45
Figura 34. Ventaja de reciclar plástico tipo PET	46
Figura 35. Cantidad de plástico que se genera en la ciudad de Riobamba	47
Figura 36. Conocimiento sobre la construcción de carreteras con plástico reciclado	47
Figura 37. Conocimiento sobre el correcto manejo y tratamiento de plástico tipo PET	48
Figura 38. Contenido de humedad.....	49
Figura 39. Peso específico del material pétreo	50
Figura 40. Masas unitarias sueltas y compactas del material pétreo	51
Figura 41. Abrasión o desgaste de los agregados	52
Figura 42. Caras fracturadas de los agregados	53
Figura 43. Partículas planas y alargadas del material pétreo.....	54
Figura 44. Resistencia a los sulfatos de los agregados pétreos.....	55
Figura 45. Ensayo para la obtención del porcentaje de vacíos	57
Figura 46. Pesos y medidas de la Gravedad específica BULK	58

RESUMEN

El cuidado del medio ambiente se ha convertido en un tema de interés social por los altos índices de contaminación, uno de los factores es el gran consumo de plásticos de un solo uso como es el caso del tereftalato de polietileno (PET). La poca cultura de reciclaje ha generado gases de efecto invernadero que son perjudiciales para la salud, además del daño generado a la flora y fauna especialmente en los mares.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto que tiene la incorporación de plástico reciclado tipo PET en mezclas asfálticas. Para lograr este objetivo se realizó la caracterización del material pétreo y ligante bituminoso empleando la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN) y la normativa del Instituto Nacional de Vías (INV-E), así como para la mezcla asfáltica la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12-MTOP).

El tereftalato de polietileno (PET) es un material derivado del petróleo, que tiene compatibilidad con la mezcla asfáltica de acuerdo a investigaciones desarrolladas anteriormente, lo cual se ha verificado en la presente investigación.

Los resultados de nuestra investigación muestran mejoras en las propiedades volumétricas con un porcentaje óptimo de PET de 3.80% en relación al peso de la mezcla asfáltica, de acuerdo a los parámetros establecidos por la metodología Marshall, ya que el flujo disminuye de 17.15 pulgada/100 a 15.99 pulgada/100, mientras que la estabilidad aumenta de 2456.19 libras a 2856.52 libras.

Palabras clave: mezcla asfáltica, plástico reciclado, mezclas modificadas, tereftalato de polietileno (PET), metodología Marshall.

ABSTRACT

Environmental care has become an issue of social interest due to the high pollution rates. One of the factors is the increased consumption of single-use plastics such as polyethylene terephthalate (PET). The lack of recycling culture has generated greenhouse gases that are harmful to health, the damage caused to flora and fauna, especially in the ocean.

The objective of this work was to study the effect of incorporating recycled PET-type plastic in asphalt mixtures. The characterization of the stone material and bituminous binder was carried out using the Norma Técnica Ecuatoriana (INEN) and the regulations of Instituto Nacional de Vías (INV-E), as well as the Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12-MTOP) for the asphalt mixture.

Polyethylene terephthalate (PET) is a petroleum-derived material to achieve this objective, which is compatible with the asphalt mix according to previously developed research and was a verified item in the present investigation.

The research results show improvements in volumetric properties with an optimum PET percentage of 3.80% related to the asphalt mix weight, according to the parameters established by the Marshall methodology because the flow decreases from 17.15 in/100 to 15.99 in/100, while the stability increases from 2456.19 lbs. to 2856.52 lbs.

Key words: asphalt mix, recycled plastic, modified mixes, polyethylene terephthalate (PET), Marshall methodology.

Reviewed by:

Mgs. Marcela González Robalino

English Professor

c.c. 0603017708

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un notable incremento del parque automotriz en el país, y como es evidente en la provincia de Chimborazo se ha generado el deterioro prematuro de las vías, sin cumplirse el ciclo de vida útil del pavimento ya sea por problemas constructivos, factores climáticos o calidad de los materiales. Actualmente se busca nuevas alternativas para contribuir a la sociedad utilizando materiales disponibles, es por ello que se ha visto en la necesidad de mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica caliente mediante la incorporación de plástico reciclado, partiendo de una alternativa que contribuye al medio ambiente mediante la reutilización de residuos plásticos. En la ciudad de Riobamba se genera alrededor de 200 toneladas diarias de basura, aproximadamente un 11% es material plástico reportó el Diario de Riobamba (2020).

Gabela (2013) menciona que la vida útil del pavimento depende de varios factores como el tráfico, las cargas de los ejes equivalentes, clima, los procesos constructivos, la calidad de los materiales tanto de la estructura, así como los utilizados para la obtención de la mezcla asfáltica, en la cual se presentan fallas comunes por ahuellamiento, piel de cocodrilo, desprendimiento de los agregados, daños por humedad, entre otros. Navarro (2017) reporta que las mezclas asfálticas convencionales están compuestas por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, 5% material pasante del tamiz N° 200 y 5% ligante bituminoso. Hoy en día se están realizando investigaciones para mejorar la mezcla asfáltica para ello se está incorporando material reciclado, que está siendo un criterio innovador y contribuye al medio ambiente (Guerrero & Pazmiño, 2017).

En este tema de investigación se pondrá en práctica el reciclaje mecánico el cual cuenta con el proceso de: recepción, selección, limpieza de material ajeno o contaminante, rasgado y trozado, molido o aglutinado y formación de hojuelas realizado por parte de las recicladoras existentes en la ciudad de Riobamba, y mediante ensayos de laboratorio se realizará el caracterización de los

agregados pétreos así como el análisis del ligante bituminoso, con la finalidad de obtener una fórmula de trabajo de la mezcla asfáltica caliente convencional en la cual se procederá a incorporar el plástico reciclado tipo PET por vía seca y de esta manera determinar si se mejoran las propiedades de la mezcla asfáltica convencional.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

Incorporar plástico reciclado vía seca en mezcla asfáltica caliente utilizando agregados pétreos del Cantón Guamate.

2.2.Objetivos Específicos

- Promover el reciclaje mecánico de plásticos generando un proceso amigable con el medio ambiente.
- Diseñar una mezcla asfáltica convencional que sirva de fórmula maestra para la conformación de la mezcla asfáltica modificada.
- Determinar una dosificación óptima para la conformación de la mezcla asfáltica caliente incorporando plástico reciclado.
- Comparar las propiedades de una mezcla asfáltica modificada con PET en relación a una mezcla convencional mediante la metodología Marshall.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Mezclas asfálticas convencionales

Las mezclas asfálticas convencionales están conformadas por agregados pétreos y ligante bituminoso, existen mezclas asfálticas en caliente y en frío, la primera consiste en combinar los agregados y el bitumen, mientras son calentados y mezclados, alcanzando una temperatura de 140 grados centígrados, mientras que la segunda está constituida por material pétreo y bitumen, cuya mezcla es realizada en condiciones ambientales (Dávalos, 2015). En la **Figura 1** se muestra la realización de la mezcla asfáltica caliente convencional con agregados pétreos procedentes del cantón Guamote.



Figura 1. *Realización de la mezcla asfáltica caliente convencional*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.2. Componentes de una mezcla asfáltica

3.2.1. Agregados

Los agregados más comunes y que son parte de la mezcla asfáltica son grava, piedra trituradas, arena y filler, estos constituyen entre el 90 al 95% de la masa y más del 75% del volumen, es importante la selección del agregado pues influye directamente en el comportamiento del pavimento (Cornejo & Lamiña, 2018).

El material grueso debe ser triturado y cribado, mientras que el material fino podrá ser producto de trituración de piedra o arena natural. Para el diseño Marshall el tamaño nominal máximo del agregado se define como el tamiz de tamaño más grande que retiene algo de las partículas del agregado, pero generalmente no más del 10% en peso (NEVI-12-MTOP, 2013). En esta investigación el tamaño nominal máximo es 3/4 pulgadas. En la **Figura 2** se muestra la trituración y cribado del material pétreo procedente de Guamote.



Figura 2. *Trituración y cribado del material pétreo procedente de Guamote*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.2.2. Ligante bituminoso

Es un ligante hidrocarbonado procedente de la destilación del petróleo, que presentan un comportamiento visco-elástico (termoplásticos) dependiendo de la temperatura (IMPTEK, 2020). Las especificaciones del ligante asfáltico se muestran en el **Anexo 1**. En la **Figura 3** se muestra el ligante bituminoso (AC-20) procedente de la refinería de Esmeraldas.



Figura 3. *Ligante bituminoso (AC-20)*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

El ligante bituminoso está formado por diferentes grupos de compuestos químicos que se clasifican como saturados (S), aromáticos (A), resinas (R) y asfaltenos (A), en una proporción tal que conforman un material viscoso comúnmente utilizado como cementante en mezclas de concreto asfáltico para la construcción de carreteras (Reyes, Daza, & Rondón, 2012).

Saturados: compuestos químicos que en percolación con n-heptano no son adsorbidos por la fase estacionaria.

Aromáticos: Compuestos químicos que son adsorbidos por la fase estacionaria en presencia de n-heptano y eluidos con tolueno.

Resinas: compuestos químicos eluidos de la fase estacionaria, luego que los saturados y los aromáticos se han removido usando tolueno y tricloroetileno.

Asfaltenos: compuestos químicos insolubles en n-heptano que pueden ser separados mediante la digestión del bitumen (Reyes, Daza, & Rondón, 2012).

Entre los tipos de ligantes bituminosos está el cemento asfáltico, asfalto diluido y la emulsión asfáltica. Las temperaturas del ligante bituminoso no deben exceder de acuerdo al material ensayado de acuerdo al Punto de Chispa y Llama (NEVI-12-MTOP, 2013). En la **Figura 4** se muestra el ensayo de punto de chispa y llama del ligante AC 20.



Figura 4. *Ensayo punto de chispa y llama*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.3. Propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada

Las propiedades volumétricas hacen referencia al Porcentaje de Vacíos de aire (V_a), Vacíos de agregado mineral (VAM), mientras que para medir la gravedad específica se analiza las siguientes: Bulk (G_{sb}), Aparente (G_{sa}), teniendo en cuenta principalmente la Estabilidad y Flujo (Aulestia & Chávez, 2017). En la **Figura 5** se muestra el aparato Marshall para obtener valores de estabilidad y flujo.



Figura 5. *Ensayo Estabilidad y Flujo - Marshall*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.3.1. Gravedad Específica Máxima Medida RICE (Gmm)

La gravedad específica máxima o peso específico Rice se realiza con la mezcla asfáltica sin compactar, lo cual indicará la cantidad de vacíos medida que tendrá la mezcla asfáltica cuando se compacte (Dota, 2020).

3.3.2. Vacíos de Aire (V_v)

Es el volumen de los espacios de aire entre las partículas del agregado cubiertas por cemento asfáltico, expresada como el porcentaje del volumen total de la mezcla asfáltica compactada (Fernández & Ruiz, 2018).

3.3.3. Vacíos de agregado mineral (VAM)

Es el volumen de espacios vacíos intergranulares entre las partículas de agregados en una mezcla asfáltica compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de bitumen efectivo, se expresa como el porcentaje de la muestra (Loria, 2020).

3.3.4. Gravedad Especifica Bulk (Gsb)

Es la relación entre el peso en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los vacíos permeables e impermeables) con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada libre de gas y que tenga la misma densidad a una temperatura establecida (Fernández & Ruiz, 2018).

3.4. Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

3.4.1. Estabilidad

La estabilidad de una mezcla asfáltica depende de la fricción interna y cohesión. La cohesión está ligada a la calidad del ligante bituminoso ya que a mayor viscosidad y menor temperatura del pavimento existe mayor cohesión, mientras que la fricción depende de las características de los agregados en cuanto a forma y textura, ya que la mezcla presenta mayor fricción cuando la partícula es más angular (Cornejo & Lamiña, 2018). En la **Figura 6** se muestra la gráfica de Estabilidad versus porcentaje de bitumen.

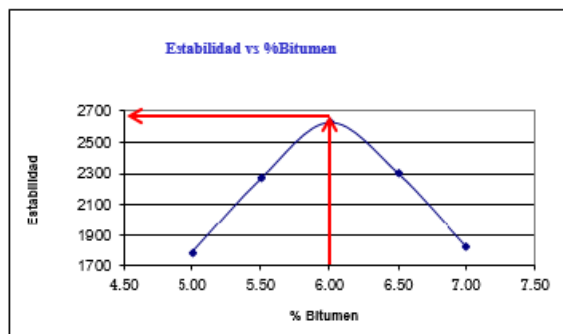


Figura 6. Estabilidad vs % Bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.4.2. Flujo

El flujo representa la deformación de la briqueta al ser aplicada una carga, los valores bajos de fluencia son considerados como frágiles y rígidos de un pavimento, mientras que los valores altos se consideran demasiado plásticas y tienden a deformarse bajo cargas de tránsito (Reyes, Madrid, & Salas, 2007). En la **Figura 7** se muestra la gráfica de Flujo versus porcentaje de bitumen.

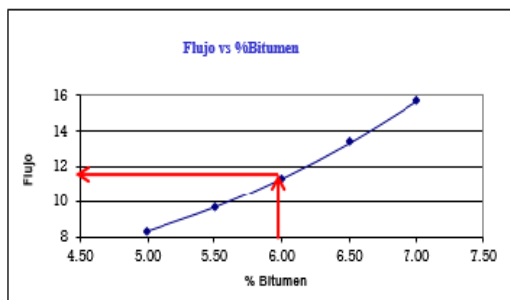


Figura 7. Flujo vs % Bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Tabla 1** se listan los valores recomendados para las propiedades volumétricas de mezclas asfálticas en caliente, mientras que en la **Tabla 2** se muestra los valores mínimos del porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Tabla 1. Requisitos Marshall para mezcla asfáltica en caliente

TIPO DE TRÁFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CRITERIOS MARSHALL								
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	1800	1200	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5
% Vacíos agregados	Ver tabla - 405.5.5							

Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013)

Tabla 2. Vacíos mínimos en el agregado mineral

TNM (mm)	VAM mínimo (%)		
	Vacíos de aire de diseño (%)		
	3.0	4.0	5.0
4.75	16.0	17.0	18.0
9.50	14.0	15.0	16.0
12.5	13.0	14.0	15.0
19.0	12.0	13.0	14.0

Fuente: (NEVI-12-MTOP, 2013)

3.5. Reciclaje

El reciclaje es la actividad de recuperar los desechos sólidos al fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos (Bolaños Zea, 2019).

La incineración y el vertedero son métodos comunes para la eliminación de residuos, sin embargo, la incineración libera sustancias tóxicas que son perjudiciales para la salud, es por ello que se ha visto en la necesidad de promover el reciclaje con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero y generar conciencia en la población (Zhang, y otros, 2020).

Los plásticos pueden ser reciclados mediante diferentes procesos y de esta manera ser utilizados en varios proyectos de construcción, ya sea estructural en el concreto, mampostería, vial en el pavimento, entre otros, uno de los procesos es la trituración mecánica y separación de materiales no aprovechables. El reciclaje mecánico consta de las siguientes etapas: trituración, remoción de contaminantes, lavado, secado, aglutinado y extrusión para formar pellets. En la **Figura 8** se muestra el proceso mecánico de trituración del PET en las trituradoras de la ciudad de Riobamba.



Figura 8. *Proceso mecánico de trituración del PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.6. Tereftalato de polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (PET) es un material termoplástico formado por moléculas de cadena larga con una estructura amorfa según su cristalización (Meza de Luna & Ahmed, 2020).

En la **Figura 9** se muestra el origen del PET, que es fabricado a partir de materias primas derivadas del petróleo como es el paraxileno y el etileno.

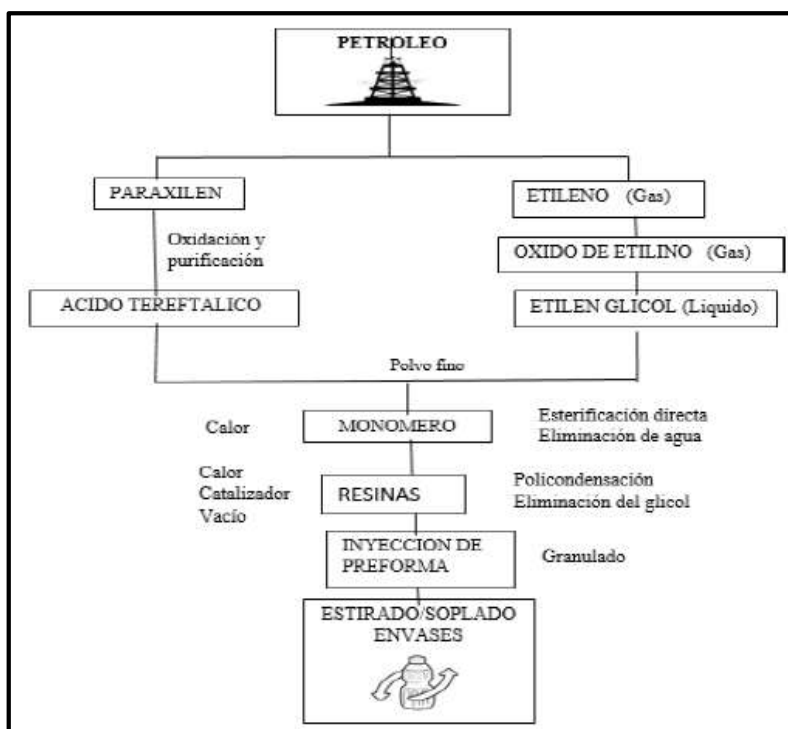


Figura 9. Origen del PET

Fuente: (Morales & Pérez, 2018)

En la **Figura 10** se muestra la estructura química del tereftalato de polietileno.

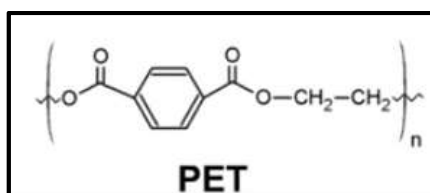


Figura 10. Estructura química del tereftalato de polietileno.

Fuente: (Janeta & Vizquete, 2018)

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, se compone en petróleo, gas y aire, un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire (Cornejo & Lamiña, 2018). En la **Figura 11** se muestra las partículas de tereftalato de polietileno para ser empleado en la mezcla.



Figura 11. Tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.6.1. Propiedades del PET

Entre las principales propiedades del PET se enuncian las siguientes: alta estabilidad térmica, presenta buena resistencia a la tracción y al impacto, no es degradable en condiciones normales (Zhang, y otros, 2020). En la **Tabla 3** se muestra las principales propiedades del tereftalato de polietileno.

Tabla 3. Propiedades del PET

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1.34 - 1.39	g/cm^3
Resistencia a la tensión	59 - 72	MPa
Resistencia a la compresión	76 - 128	MPa
Resistencia al impacto	0.01 - 0.04	J/mm
Dilatación térmica	15.2 - 24	$10^{-4}/^{\circ}C$
Resistencia al calor	80 - 120	$^{\circ}C$
Temperatura de fusión	244 - 254	$^{\circ}C$
Absorción de agua (24 h)	0.02	%
Densidad cristalina	1.455	g/cm^3
Resistencia a la rotura	47	MPa
Peso molecular	81600	$g.mol^{-1}$
Temperatura de transición vítrea	70 - 80	$^{\circ}C$

Fuente: (Poalacin, 2019)

3.7. Mezclas asfálticas modificadas

Las mezclas modificadas son producto de la incorporación de diferentes tipos de modificadores que pueden ser polímeros o no, cuyo objetivo es mejorar las propiedades como la cohesión, resistencia al agua, temperatura, respuesta elástica, envejecimiento, aumentando la resistencia y esfuerzos de tensión a la fatiga, y reduciendo agrietamientos (Forigua & Pedraza, 2014).

Las mezclas asfálticas modificadas mejoran las propiedades de una tradicional, proporcionando alargar su vida útil y brinda un menor costo de mantenimiento (Campaña, Galeas, & Guerrero, 2015). En la **Figura 12** se muestra la combinación de agregados pétreos con PET para la mezcla asfáltica modificada.



Figura 12. *Agregados pétreos + PET para mezcla asfáltica*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

3.7.1. Ventajas y desventajas de mezclas asfálticas modificadas con plástico

Las mezclas asfálticas modificadas presentan varias ventajas entre las cuales están: disminuir los mantenimientos de vías, ya que, con esta al modificarlas se obtiene una mayor durabilidad y resistencia a los esfuerzos, fatiga y son menos deformables a los cambios de temperatura teniendo en cuenta, que día a día los pavimentos están expuestos a un desgaste continuo (Alarcón, Chaparro, & Sánchez, 2020). Silvestre (2017) menciona que las mezclas modificadas presentan las siguientes ventajas:

Mecánicas: aumenta la resistencia a la deformación y rotura en un rango más amplio de temperaturas y cargas, son más flexibles lo que evita la formación de ahuellamiento y grietas, tienen más resistencia mecánica como a la tracción y buena adhesión a los agregados, por lo tanto, tiene mayor durabilidad y menor gasto de mantenimiento.

Térmicas: disminuyen la susceptibilidad térmica, disminuyen la fragilidad en climas y aumentan la cohesión en tiempos de calor, varía su comportamiento de acuerdo a la temperatura en que se encuentren.

Tiempo de vida: el plástico reciclado proporciona una excelente resistencia al envejecimiento, mejora la vida útil de las mezclas: reduciendo los trabajos de mantenimiento, aumenta la rigidez de los asfaltos lo cual ayuda a soportar cargas de una forma prolongada sin deformarse, impermeabilidad ante la humedad.

En cuanto a las desventajas del uso de plástico en la mezcla asfáltica se puede mencionar que una excesiva cantidad de plástico no permite que la mezcla asfáltica se compacte, tal como se observa en el **Anexo 2**, pues una mezcla radica en unir dos o más componentes la cual presenta características propias diferentes a la de sus componentes, pudiendo encontrar partes en la que domine un componente por lo cual tiendan a separarse (Siso, Estrada, Carrascal, & Mendoza, 2015).

4. METODOLOGÍA

En la **Figura 13** se muestra el flujo de trabajo y las actividades a desarrollar para lograr el objetivo del estudio.

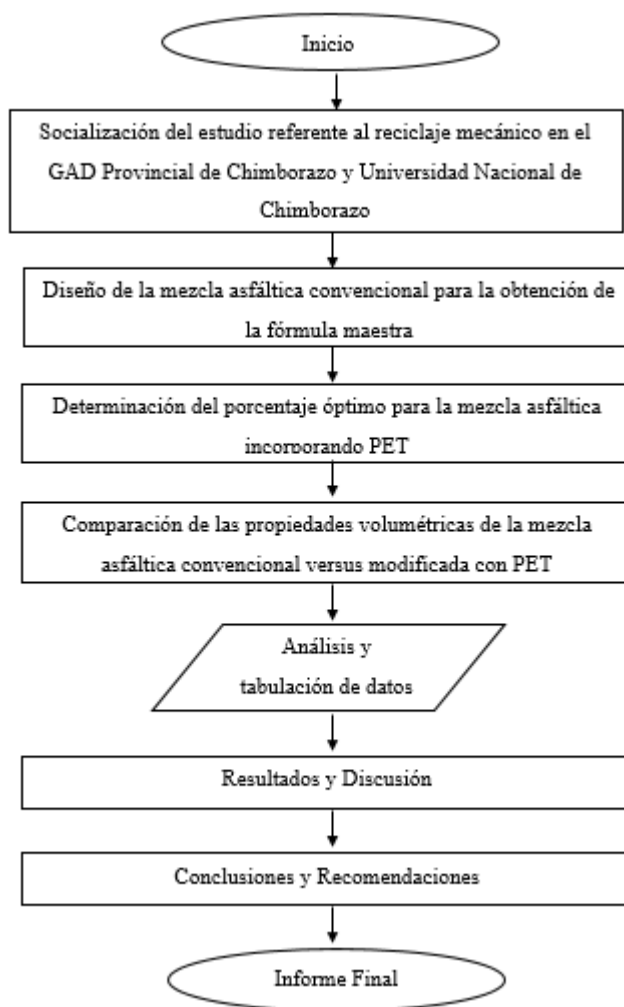


Figura 13. *Flujo de trabajo*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Para el desarrollo de esta investigación se ha recopilado información bibliográfica a través de palabras claves: mezcla asfáltica, plástico reciclado, mezclas modificadas, tereftalato de polietileno (PET), metodología Marshall, en los motores de búsqueda científicos como por ejemplo Google Académico, Scielo, WorldWideScience.org, Scopus, ScienceDirect, Repositorios

digitales y Normativas relacionadas a ensayos realizados en pétreos y bitumen como AASHTO, INV E, NEVI, MOP.

Para promover el reciclaje mecánico se ha programado la socialización del tema de investigación en cuanto a la incorporación de plástico tipo PET en mezclas asfálticas, mismo que se evidencia en el **Anexo 3**, la cual está dirigida al encargado del departamento técnico de medio ambiente del GAD Provincial de Chimborazo y a estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo siguiendo el cronograma de actividades presentado en el **Anexo 4**, además de la aplicación de una encuesta a los asistentes presentada en el **Anexo 5**.

Para el diseño de la mezcla asfáltica convencional en la **Tabla 4** se listan las normas usadas como referencia de los ensayos realizados para la caracterización de los agregados, ligante bituminoso y PET, teniendo en cuenta los requisitos Marshall para mezcla asfáltica en caliente para una vía de tráfico pesado y muy pesado, así como los ensayos en las briquetas para determinar sus propiedades los cuales han sido realizados en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo y en las instalaciones de Estudios Especializados.

Tabla 4. Métodos aplicados en los ensayos

ENSAYO	MÉTODO
Granulometría de los agregados: fino, grueso y medio	INV E-123-07
Granulometría del PET	INV E-123-07
Contenido de humedad	INV E-216-07
Peso específico y absorción: agregado fino	NTE INEN 856
Peso específico y absorción: agregado grueso y medio	NTE INEN 857
Masa unitaria suelta y compacta de los agregados grueso y fino	INV E-217-07
Abrasión o desgaste de los agregados	INV E-218-07
Caras fracturadas	INV E-227-07
Partículas planas y alargadas	INV E-240-07
Resistencia a los sulfatos	INV E-220-07
Penetración	INV E-706-07
Punto de inflamación	INV E-709-07
Peso específico RICE (Gmm)	INV E-735-07
Peso específico BULK (Gmb)	INV E-733-07
Estabilidad y Flujo – Marshall	INV E-748-07

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Tabla 5** se muestra los porcentajes de ligante bituminoso para la obtención de la fórmula maestra para la mezcla asfáltica convencional trabajando con una población de 25 briquetas.

Tabla 5. *Porcentaje de bitumen para la mezcla convencional*

Bitumen (%)	4.500	5.000	5.500	6.000	6.500
Agregado 3/4 (%)	32.470	32.300	32.130	31.960	31.790
Agregado 3/8 (%)	57.300	57.000	56.700	56.400	56.100
Arena (%)	5.730	5.700	5.670	5.640	5.610

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Los porcentajes de PET para la dosificación óptima de la mezcla modificada presenta una población de 30 briquetas la cual se muestra en la **Tabla 6**, ya que se realizan cinco briquetas por cada porcentaje.

Tabla 6. *Porcentaje de PET para la mezcla modificada*

PET (%)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Bitumen (%)	6.470	6.470	6.470	6.470	6.470	6.470
Agregado 3/4 (%)	31.800	31.800	31.800	31.800	31.800	31.800
Agregado 3/8 (%)	55.120	54.120	53.120	52.120	51.120	50.120
Arena (%)	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610	5.610

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Para realizar la comparación de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica convencional en relación a la mezcla modificada con PET de acuerdo a la Metodología Marshall se realizan las briquetas y una vez obtenidos los resultados se descartan datos atípicos, por lo tanto, se tendrán 3 briquetas por cada porcentaje, así como el porcentaje de PET, datos necesarios de acuerdo al Instituto Nacional de Vías (2007).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Reciclaje mecánico de plásticos

Una vez realizada la encuesta al Ing. Jorge Velasco encargado del departamento técnico de medio ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, se recopiló los datos que se muestran en el **Anexo 6**, conjuntamente con su tabla de resultados y figura que representan los porcentajes de cada una de las respuestas.

Basándonos en los resultados de las encuestas se procedió a socializar información referente a esta investigación abordando temas como: el reciclaje, proceso del reciclaje mecánico, datos importantes sobre la cantidad de desechos generados en la ciudad, proceso realizado para la incorporación del PET y resultados obtenidos.

5.2. Diseño de la mezcla asfáltica convencional

Para el diseño de la mezcla asfáltica convencional se parte de la caracterización de los agregados pétreos y el ligante bituminoso, por lo que se debe tener en cuenta los parámetros especificados en las normas para cada uno de los ensayos que se han realizado, así como las bandas granulométricas máxima y mínima para la conformación de la fórmula maestra.

5.2.1. Ensayos realizados al ligante bituminoso

a. Penetración

Este ensayo determina la consistencia de materiales asfálticos, mediante la aplicación de una aguja normalizada que penetra verticalmente en la muestra como se observa en la **Figura 14** teniendo en cuenta las siguientes condiciones: una carga móvil incluido el peso de la aguja de 100 gramos, en un tiempo de 5 segundos y a una temperatura a baño maría de 25° C. En la **Tabla 7** se presentan los valores del ensayo de penetración del AC 20.



Figura 14. Penetración del ligante bituminoso

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 7. Penetración del ligante bituminoso

PENETRACIÓN 1/10th mm	
N°	PROFUNDIDAD
1	72
2	70
3	71
PROMEDIO	71

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

b. Punto de inflamación

El siguiente ensayo permite medir las propiedades del ligante asfáltico al ser expuesto al calor y a fuego bajo condiciones controladas de laboratorio mostrado en la **Figura 15**, la temperatura va aumentando a diferentes intervalos de tiempo permitiendo que el bitumen pase de estado sólido a líquido, en este ensayo se tendrán en cuenta dos valores los cuales son el punto de chista y el punto de inflamación en el cual se encenderá el bitumen por un lapso mínimo de 5 segundos. En la **Tabla 8** se muestra los datos obtenidos del ensayo de punto de inflamación.



Figura 15. *Punto de inflamación del ligante*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 8. *Punto de inflamación*

PUNTO DE CHISPA	PUNTO DE INFLAMACIÓN
180 °C	240 °C

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

5.2.2. Ensayos realizados a los agregados pétreos

a. Granulometría

Determina la graduación del material pétreo mediante el proceso de tamizaje, con el fin de dar cumplimiento a las especificaciones respectivas para el uso de cada agregado. Éste ensayo ayuda a generar la curva granulométrica de la estructura mineral a utilizar en la fórmula de trabajo de la mezcla convencional. El agregado grueso hace referencia al tamaño nominal de 3/4, agregado medio de 3/8 y agregado fino a la arena, como se observa en la **Figura 16**. En la **Tabla 9** se presenta los valores de granulometría del material pétreo y PET.



Figura 16. Granulometría del material pétreo y PET

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 9. Granulometría del material pétreo y PET

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA (%)			
Nº	mm	3/4	3/8	ARENA	PET
1	25	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4	20	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2	13	42.31	100.00	100.00	100.00
3/8	10	15.18	96.17	100.00	100.00
4	5	0.56	63.43	99.01	97.74
8	2.5	0.47	42.02	98.37	10.55
30	0.630	0.41	24.84	83.65	2.52
50	0.315	0.37	14.45	33.99	1.66
100	0.160	0.33	6.77	8.04	0.48
200	0.080	0.22	2.66	1.97	0.08

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Figura 17** se muestra la curva granulométrica de la estructura mineral para la mezcla asfáltica, con los porcentajes mostrados en la **Tabla 10** los cuales presentan la estructura mineral óptima de la mezcla convencional, la cual está dentro de las bandas granulométricas superior e inferior.

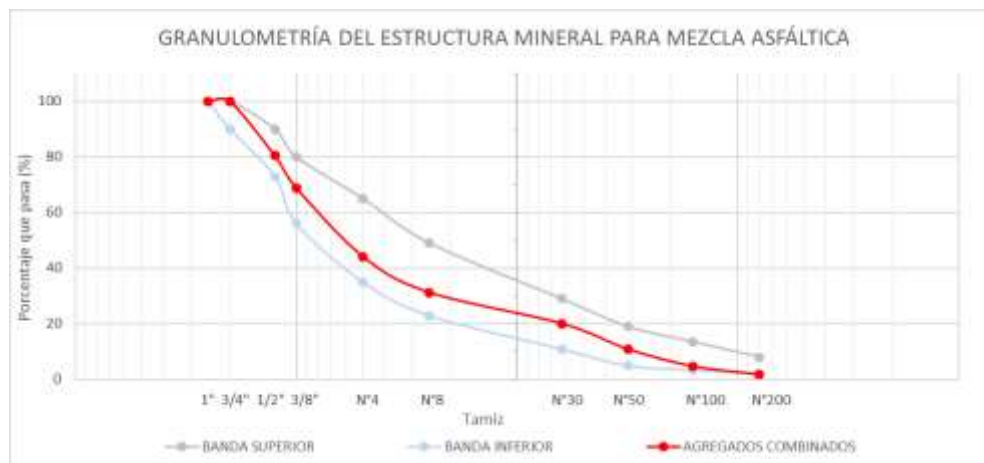


Figura 17. Curva Granulométrica de la estructura mineral para mezcla asfáltica

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 10. Estructura mineral óptimo de la mezcla convencional

Muestra de Control			
Agregados	3/4	3/8	Arena
%	34	60	6

Fuente: Escobar, C., Zumba, O.

5.2.3. Ensayo de Estabilidad y Flujo - Marshall

Determina la estabilidad y flujo de las briquetas que han sido previamente sumergidas en baño María durante 30 o 40 minutos a una temperatura de $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ para posteriormente ser ensayadas en el Aparato Marshall como se puede observar en el **Figura 18**. En la **Tabla 11** se muestra los valores de Estabilidad y Flujo de la mezcla convencional.

Tabla 11. Estabilidad y Flujo de la mezcla convencional

% Bitumen	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
Estabilidad (lb)	2.154	2.188	2.192	2.239	2.244
	2.143	2.196	2.211	2.210	2.243
	2.193	2.185	2.182	2.226	2.247
Flujo (plg/100)	15.200	14.900	16.200	21.800	15.900
	18.800	18.300	17.100	19.400	14.700
	15.200	11.000	19.800	17.200	19.700

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 18. *Estabilidad y Flujo - Marshall*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

5.2.4. Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional

Se realizan ensayos a las briquetas con varios porcentajes de bitumen con una variación de 0.5% en peso y partiendo desde el porcentaje de bitumen teórico óptimo hacia arriba y hacia abajo, esto servirá para obtener el porcentaje óptimo de bitumen de laboratorio y de esta manera determinar la fórmula de la mezcla convencional. En la **Tabla 12** se presenta la fórmula de la mezcla convencional.

Tabla 12. *Fórmula de la mezcla convencional*

Mezcla Convencional				
Agregados	3/4	3/8	Arena	Bitumen
%	31.8	56.12	5.61	6.47

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

5.3. Dosificación óptima para la mezcla asfáltica caliente con PET

5.3.1. Estructura mineral óptima + PET

En la **Figura 19** se muestra la curva granulométrica de la estructura mineral con la incorporación del PET sustituyendo al agregado medio, de esta manera también se controla que la

curva se mantenga dentro de las bandas granulométricas superior e inferior, con los porcentajes mostrados en la **Tabla 13**.



Figura 19. Curva granulométrica de la estructura mineral + PET para mezcla asfáltica

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 13. Estructura mineral óptima + PET

Muestra con PET				
Agregados	3/4	3/8	Arena	PET
%	34	54	6	6

Fuente: Escobar, C., Zumba, O.

5.3.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo de la muestra con PET

Una vez determinado el porcentaje óptimo de bitumen se procede con la incorporación del PET sustituyendo el agregado medio. La incorporación será en intervalos de 1% en peso. Iniciando desde 1% hasta el 6%, porcentaje en el cual se presenta un incremento del volumen al momento de realizar las briquetas, razón por la cual no se prueba con porcentajes mayores a 6%. En la **Tabla 14** se muestra los valores de Estabilidad y Flujo de la mezcla con PET, mientras que en la **Tabla 15** se muestra la fórmula de la mezcla modificada.

Tabla 14. Estabilidad y Flujo de la mezcla con PET

% PET	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Estabilidad (lb)	4003.837	3733.128	3155.112	3135.288	2597.376	2073.964
	4488.082	3704.292	3090.837	2807.298	2413.684	2968.940
	4200.670	2783.118	2817.909	2801.526	2688.196	2112.344
Flujo (plg/100)	22.000	19.300	16.300	16.800	19.100	25.800
	21.600	18.900	16.800	16.400	18.000	26.200
	21.200	20.000	16.500	15.200	18.500	25.000

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 15. Fórmula de la mezcla modificada

Mezcla Modificada					
Agregados	3/4	3/8	Arena	Bitumen	PET
%	31.80	52.32	5.61	6.47	3.80

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Además de la granulometría es necesario realizar varios ensayos con el fin de caracterizar los agregados pétreos que se utilizarán en la mezcla asfáltica, los cuales son: contenido de humedad mostrado en el **Anexo 7**, Peso específico y absorción de los agregados mostrado en el **Anexo 8**, Masa unitaria suelta y compacta de los agregados grueso y fino mostrado en el **Anexo 9**, Abrasión o desgaste de los agregados presentado en el **Anexo 10**, Caras fracturadas expuesto en el **Anexo 11**, Partículas planas y alargadas mostrado en el **Anexo 12**, Resistencia a los sulfatos presentado en el **Anexo 13**, Pesos y medidas se muestra en el **Anexo 14**, Peso específico RICE expuesto en el **Anexo 15**, Peso específico BULK mostrado en el **Anexo 16**.

5.4. Propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica

5.4.1. Propiedades volumétricas de la muestra convencional

Una vez realizados todos los ensayos se procede con los cálculos de las propiedades volumétricas, datos que se compararán con las tablas 405.5.4 y 405.5.5 de la NEVI-12-MTOP (2013), de esta manera se determinará el porcentaje óptimo de bitumen el cuál cumpla con los

parámetros de la norma. En la **Tabla 16** se muestra los valores de las propiedades volumétricas de la mezcla convencional.

Tabla 16. *Propiedades volumétricas de la mezcla convencional*

% Bitumen	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
BULK	2.164	2.190	2.195	2.225	2.245
Estabilidad	1945.454	2687.284	2848.955	2624.495	2451.360
Flujo	16.400	14.733	17.700	19.467	16.767
Vv	9.348	8.066	7.662	5.546	3.884
VAM	15.763	15.191	15.438	14.726	14.440

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Según el porcentaje óptimo de bitumen se tiene un valor de 4.0%, este valor se encuentra dentro del rango estipulado por la NEVI-12-MTOP (2013), el cual es de 3 a 5% de vacíos de aire, este valor se presenta gráficamente en la **Figura 20**.

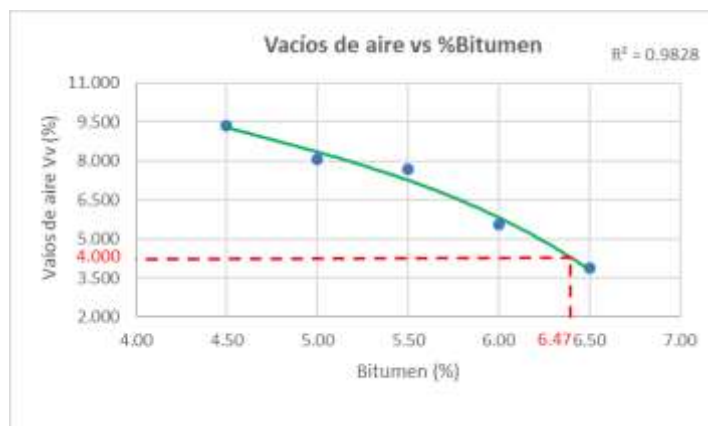


Figura 20. *Porcentaje de vacíos vs % bitumen*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

De acuerdo a la NEVI-12-MTOP (2013) el valor de estabilidad para tráfico pesado es a partir de 1800 lb, en este caso se cumple con este requerimiento ya que para el porcentaje óptimo de bitumen es de 2456.19 lb como se muestra en la **Figura 21**.

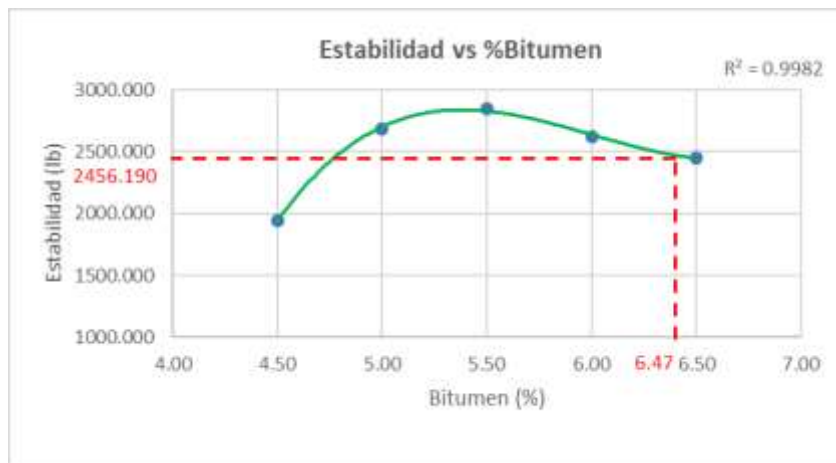


Figura 21. Estabilidad vs % bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

De acuerdo al porcentaje óptimo de bitumen se tiene un flujo de 17.15 pulgada/100 que se encuentra cercano del rango para un tráfico pesado de acuerdo a lo mencionado por la NEVI-12-MTOP (2013) como se representa en la **Figura 22**.

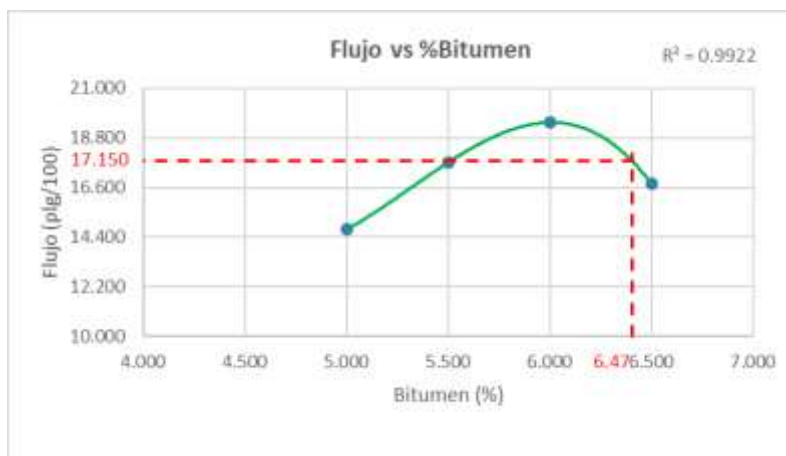


Figura 22. Flujo vs % Bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

La gravedad específica Bulk es de 2.24 g/cm^3 , valor correspondiente al porcentaje óptimo de bitumen de 6.47%, dato que se representa en la **Figura 23**.

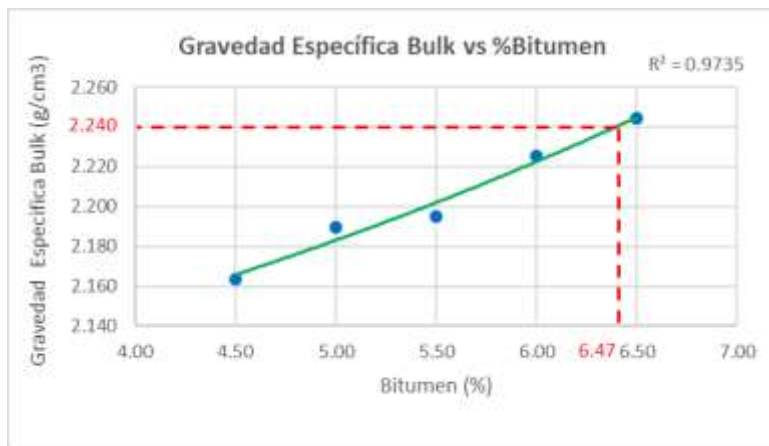


Figura 23. Gravedad específica BULK vs % Bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Figura 24** se presenta el porcentaje de vacíos del agregado mineral es de 14.43% en relación al porcentaje óptimo de bitumen, el valor mínimo de VAM se analiza de acuerdo al tamaño nominal máximo y al porcentaje de vacíos que en este caso es de 15% de acuerdo a la (NEVI-12-MTOP, 2013).

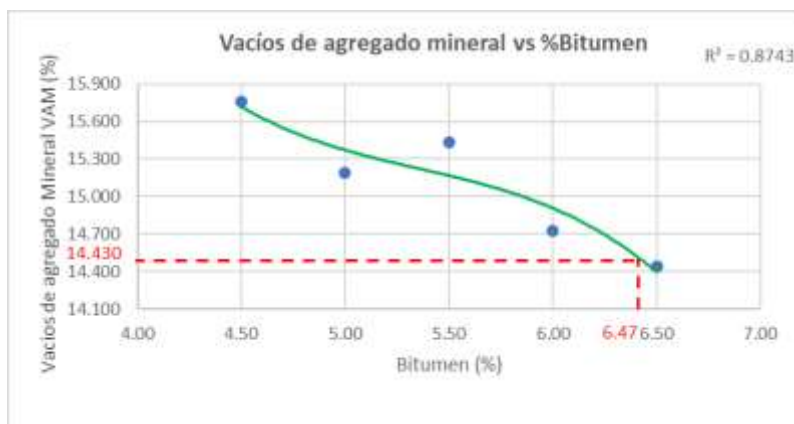


Figura 24. Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs % Bitumen

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

5.4.2. Propiedades volumétricas de la muestra con PET

Las propiedades volumétricas de la muestra con PET también se calculan y se comparan de la misma manera que la fórmula maestra. Se determina el porcentaje óptimo de PET que cumpla con las especificaciones de la norma y que a su vez mejoren las propiedades de la muestra de convencional lo que se puede visualizar en la **Tabla 17**.

Tabla 17. *Propiedades volumétricas de la muestra con PET*

% PET	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
BULK	2.146	2.105	2.090	2.046	2.015	2.008
Estabilidad	4230.863	3406.846	3021.286	2914.704	2566.419	2385.083
Flujo	21.600	19.400	16.533	16.133	18.533	25.667
Vv	14.699	13.777	5.985	4.687	6.976	13.143
VAM	18.192	19.742	20.309	21.988	23.179	23.425

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Figura 25** se puede observar el valor de flujo para el porcentaje óptimo de PET es de 15.99 plg/100, que está cercano al requisito para tráfico pesado como indica la norma NEVI-12-MTOP (2013).

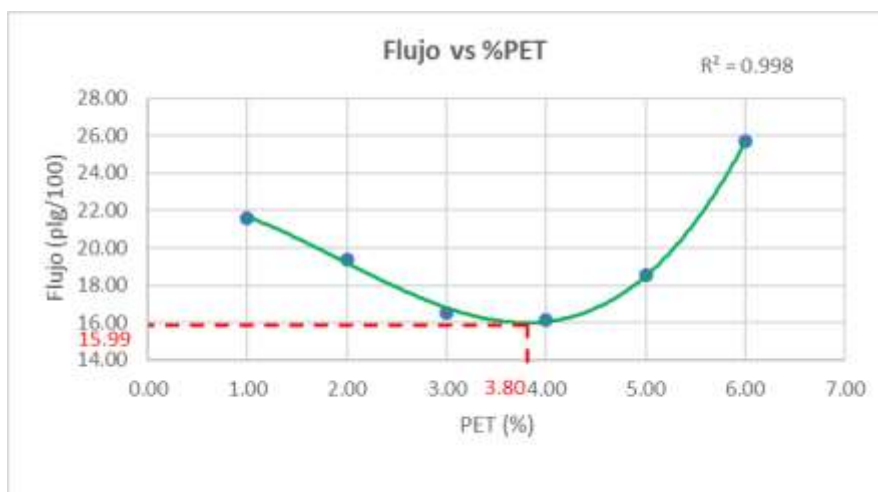


Figura 25. *Flujo vs %PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Con el porcentaje óptimo de PET se tiene una estabilidad de 2856.52 lb, cumpliendo con el requisito mínimo para tráfico pesado establecido por la NEVI-12-MTOP (2013), como se muestra en la **Figura 26**.

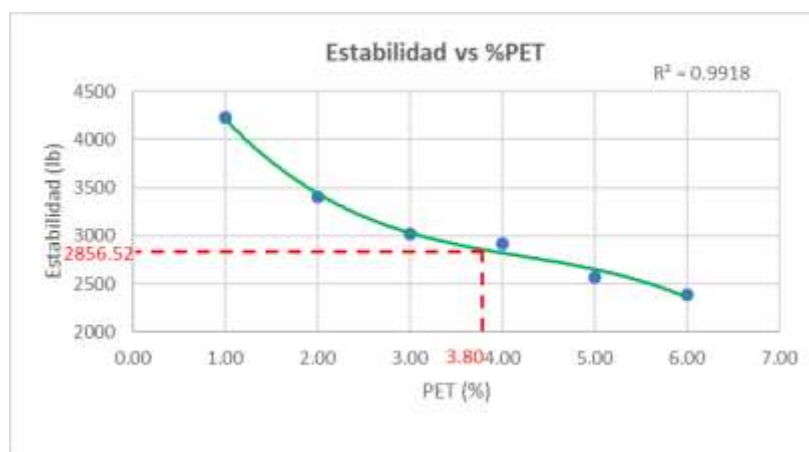


Figura 26. Estabilidad vs %PET

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

El porcentaje óptimo de PET determinado en esta investigación es del 3.80% del peso de los agregados pétreos, con este valor la Gravedad Específica Bulk es de 2.05 g/cm³ como se presenta en la **Figura 27**.

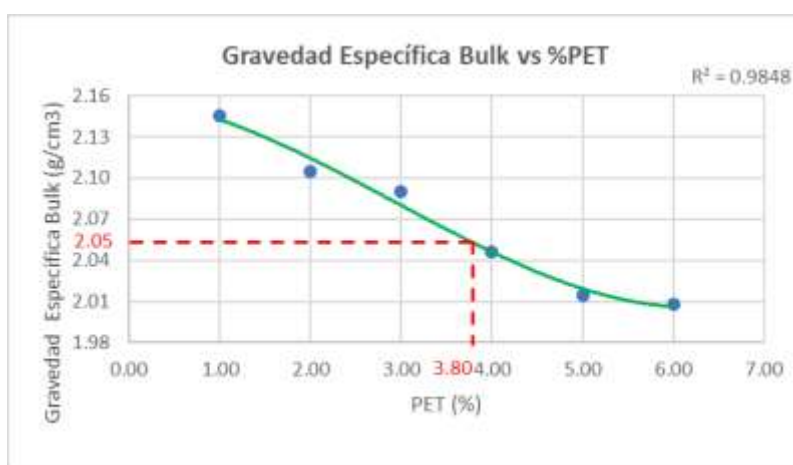


Figura 27. Gravedad específica Bulk vs %PET

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

En la **Figura 28** se presenta el valor de vacíos de aire respecto al porcentaje óptimo de PET es de 5.18% , el cual se aproxima a los valores dados por la (NEVI-12-MTOP, 2013).

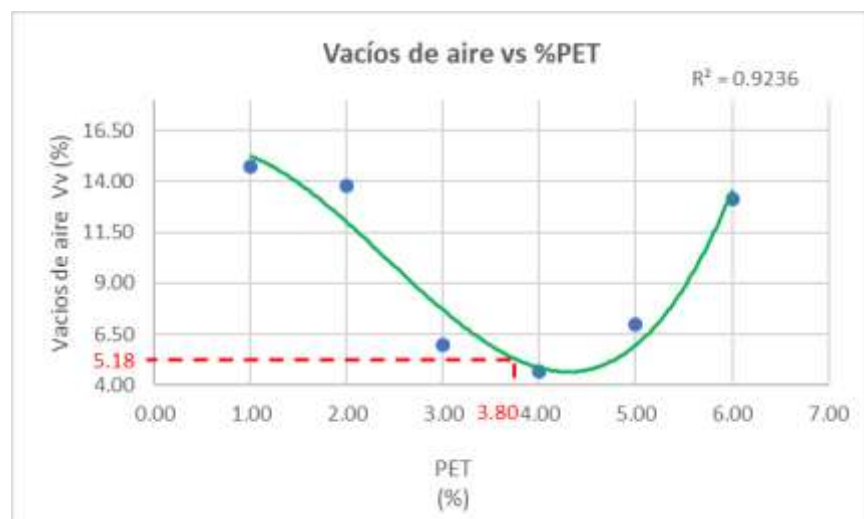


Figura 28. *Porcentaje de vacíos de aire vs %PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

El porcentaje de vacíos del agregado mineral para el porcentaje óptimo de PET tiene un valor de 21.73% lo cual se representa en la **Figura 29**.

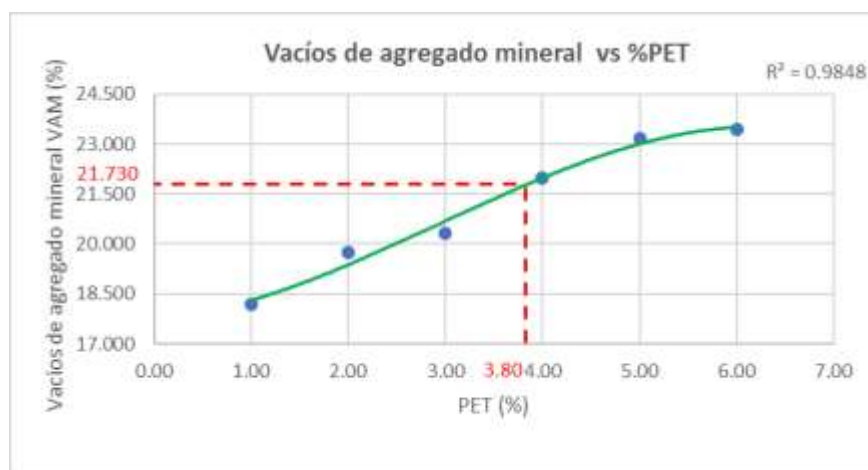


Figura 29. *Porcentaje de vacíos de agregado mineral vs %PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

6. CONCLUSIONES

- Una vez tabulados los datos de la encuesta aplicada a los estudiantes de la cátedra de Pavimentos y Carreteras, se observa que existe un desconocimiento sobre el plástico utilizado en botellas desechables, cantidad de desechos plásticos que se generan al día en la ciudad de Riobamba, así como su aplicación en proyectos viales por lo cual se socializo la investigación realizada.
- Para el diseño de la mezcla asfáltica se realizó la caracterización de los agregados pétreos y ligante bituminoso, encontrando el esqueleto mineral, así como el porcentaje óptimo de bitumen para obtener la fórmula maestra analizando las propiedades de la mezcla convencional en correspondencia con la Norma Ecuatoriana Vial en el volumen 3, valores que se pueden observar en la Tabla 12.
- La evidencia presentada con antelación demuestra que si se puede incorporar plástico reciclado tipo PET por vía seca mientras no sean mayores al 6% ya que la muestra presenta un incremento considerable de volumen de la briqueta, así como la baja densidad además de ser inconsistente después de los 75 golpes ya que la briqueta no llega a compactarse. Mientras que al incorporar porcentajes bajos de PET se evidencia una mejora de la estabilidad, pero afecta a la fluencia, mientras que al aumentar los porcentajes de PET disminuye la estabilidad, pero manteniéndola por encima de una mezcla convencional y el flujo mejora.
- Una vez preparadas y ensayadas las briquetas de mezcla asfáltica convencional y modificada se determina que las briquetas con plástico reciclado tipo PET muestran una mejora en las propiedades volumétricas de acuerdo a la metodología Marshall, pues el flujo disminuye mientras que la estabilidad aumenta.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar una comparación técnica de los datos obtenidos en la presente investigación con el estudio denominado “Incorporación de plástico reciclado vía húmeda en mezcla asfáltica caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote”.
- Incorporar el PET pasante del tamiz N° 200 y el cemento portland en la mezcla asfáltica, con el objetivo de mejorar la impermeabilidad y resistencia, realizando una comparación entre estos dos materiales.
- Generar una fórmula maestra de campo basándose en los datos obtenidos en la presente investigación.
- Generar una mezcla asfáltica incorporando PET basándose en las propiedades volumétricas de la Norma Ecuatoriana Vial volumen 3, con la compactación necesaria para bitumen de tipo de tráfico medio y liviano, pues en esta investigación se ha trabajado con las características para tráfico pesado y muy pesado.
- Al momento de preparar las briquetas se debe tener en cuenta varios aspectos como: controlar la temperatura de 140 a 160°C para mezclado de los agregados y bitumen, así como para la compactación, la mezcla asfáltica deberá estar en constante movimiento para que el bitumen se adhiera uniformemente al material pétreo y PET.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abreu, J. (2012). Hipótesis, Metodo & Diseño de Investigación. *Daena: Internacional Journal of Good Conscience*, 7(2), 187 - 197. [http://www.spentamexico.org/v7-n2/7\(2\)187-197.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n2/7(2)187-197.pdf)
- Alarcón , D. P., Chaparro , J. L., & Sánchez, M. A. (2020). Importancia de la Resistencia y Vida Útil de Mezclas Asfálticas Modificadas con GCR en Colombia. Colombia. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30460/2020dayssealarcon.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Aulestia, S., & Chávez, S. (2017). Comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (Tapas plásticas de botellas) por vía seca. Quito, Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14556>
- Bolaños Zea, J. (Diciembre de 2019). Reciclado de Plástico PET. Arequipa. http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS_ZEA_JUA_PET.pdf
- Campaña, O., Galeas, S., & Guerrero, V. (2015). Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Automotores. *Politécnica*, 36(3), 6. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/513/pdf
- Cornejo, D., & Lamiña, J. (Noviembre de 2018). Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, mediante la incorporación de material triturado de productos reciclados de Tereftalato de Polietileno (PET), utilizando los agregados de la mina del río Pita en la ciudad de Quito,

mediante la determinación. Quito, Ecuador.

<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15819>

Dávalos, Y. (2015). Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado:

Poliestireno Expandido. Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1910>

DIARIO DE RIOBAMBA. (6 de Febrero de 2020). Riobamba genera aproximadamente 200

toneladas diarias de basura. <http://eldiarioderiobamba.com/2020/02/06/riobamba-genera-aproximadamente-200-toneladas-diarias-de-basura/>

Dota, J. (2020). Diseño del hormigón asfáltico con materiales provenientes de la planta asfáltica

de la municipalidad de Machala utilizando el método Marshall. Machala, Ecuador.

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15478>

Fernández, P., & Ruiz, N. (2018). Mezcla asfáltica modificada con poliestireno por vía seca. Quito,

Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15075>

Figueroa, A., Fonseca, E., & Reyes, F. (2009). Caracterización fisicoquímica y morfológica de

asfaltos modificados con material reciclado. *SCielo*, 13(1), 45 - 70.

<http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v13n1/v13n1a03.pdf>

Forigua, J., & Pedraza, E. (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición

de desperdicios plásticos. Bogotá, Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>

Freire, L. M., & González, C. J. (2013). Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3218>

Gabela, D. (2013). “PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA SECCIÓN DEL PASO LATERAL DE AMBATO COMPRENDIDA ENTRE HUACHI GRANDE Y EL REDONDEL DEL TERREMOTO”. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6030>

Granados, J., & Saez, L. (2017). Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional. Lima, Perú. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1572>

Guerrero, A., & Pazmiño, H. (2017). “USO DE LUBRICANTES DESECHADOS DE VEHÍCULOS COMO REJUVENECEDORES DE LIGANTES BITUMINOSOS Y SU APLICACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE HMA”. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13462>

IMPTEK. (Mayo de 2020). SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE VÍAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y ASFALTOS POLIMERIZADOS. Quito, Ecuador.

Instituto Nacional de Vías. (2007). RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL INV E - 748 - 07.

- Janeta, B. P., & Vizuite, K. E. (2018). Rediseño y automatización de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET. Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10448>
- Loria, G. (19 de Junio de 2020). Uso de plástico reciclado como aditivo en mezclas asfálticas. Costa Rica. <https://www.facebook.com/EsVialUNMSM/videos/2734304036799102>
- Mejía, C., & Sierra, C. (2017). Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: Caso de estudio Universidades de Bogotá D.C. Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1470>
- Meza de Luna, A., & Ahmed, F. U. (19 de Julio de 2020). Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. México. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120331
- Morales, C. E., & Pérez, B. E. (Agosto de 2018). Determinación de la conductividad térmica y resistencia mecánica de ladrillos y placas conformadas de cemento y polietileno tereftalato (PET). Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9927>
- Navarro, J. (2017). Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET. Perú. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/4569>
- NEVI-12-MTOP. (2013). Volumen N° 3 Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes. Quito, Ecuador. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf

Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETROLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS NTE INEN 2515. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2515.pdf>

Orellana, J. R., & Solano, J. E. (17 de Octubre de 2019). Dosificación óptima en pavimento flexible de asfalto y caucho reciclado utilizando materiales de la región. Cuenca, Ecuador. <https://core.ac.uk/reader/288578580>

Poalacin, D. V. (12 de Noviembre de 2019). Mejoramiento de las propiedades física y mecánicas de polipropileno (PP) reciclado mediante la adición de polietileno teraftalato reciclado (PET) por proceso de extrusión. Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13266>

Políticas para Gestión Integral de Plásticos en el Ecuador. (03 de Abril de 2014). 1-9. Quito, Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Acuerdo-19.pdf>

Reyes, F. A., Daza, C. E., & Rondón, H. A. (2012). Determinación de las fracciones SARA de asfaltos colombianos embejecidos al medio ambiente empleando cromatografía líquida en columna. *EIA*, 47 - 56. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n17/n17a05.pdf>

Reyes, F., Madrid, M., & Salas, S. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). *Infraestructura vial*, 9(17), 25 - 34. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2063>

Salazar Pinto, O. (2017). *OSP Asfaltos*. <http://www.osp.com.ec/osp-asfaltos/>

- Silvestre , D. F. (2017). Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017. Lima, Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1506>
- Siso, Z., Estrada, A., Carrascal, E., & Mendoza, C. (2015). UN MODELO DE SECUENCIA DE ENSEÑANZA DE LA TEMÁTICA: MEZCLAS. TIPOS Y SEPARACIÓN DE MEZCLAS. *Diálogos Educativos*, 15(29), 124 - 140. doi:10.13140/RG.2.2.12959.82082
- Zavala, G. (21 de Junio de 2020). Uso de polímeros en el asfalto. Perú.
<https://www.facebook.com/EsVialUNMSM/videos/768865993651492>
- Zhang, R., Ma, X., Shen, X., Zhai, Y., Zhang, T., Ji, C., & Hong, J. (17 de Enero de 2020). Reciclaje de botellas de PET en China: un LCA junto con un estudio de caso de LCC sobre la producción de mantas hechas de botellas de PET de desecho. China.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110062>

9. ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones del ligante bituminoso

Tabla 18. Especificaciones del ligante bituminoso

Requisitos	Unidad	Grado de Penetración										Métodos de Ensayo
		I		II		III		IV		V		
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Penetración 25 °C, 100g, 5s	1/10 mm	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	NTE INEN 917
Viscosidad a 135 °C												
Saybolt -Furol	SSF	-	120	-	100		85	-	70		50	NTE INEN 1 831
Cinemática	Cst	-	240	-	200		170	-	140		100*	NTE INEN 810
Punto de Inflamación	°C	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-	NTE INEN 808
Ductibilidad a 25 °C y 5 cm/min	cm	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	NTE INEN 916
Solubilidad en Tricloroetileno	%m/m	99	.	99	-	99	-	99	-	99	.	NTE INEN 915
Pérdida de masa por calentamiento	% m/m	-	0.8	-	0.8	-	1	-	1,3	-	1,5	NTE INEN 924
Ensayos en el residuo:												
Penetración (% del Original)	% m/m	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-	NTE INEN 918
Ductibilidad a 25 °C, 5 cm/min	cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100*	-	NTE INEN 916

*Si la ductibilidad a 25 °C, es menor a 100 cm el material será aceptado; si la ductibilidad a 15,5 °C, es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min

Fuente: (Salazar Pinto, 2017)

Anexo 2. Briqueta con exceso de plástico

En la **Figura 30** se muestra una briqueta con exceso de plástico la cual no pudo ser compactada.



Figura 30. Briqueta con exceso de plástico

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 3. Socialización de la investigación

En la **Figura 31** se muestra la socialización de la investigación a estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

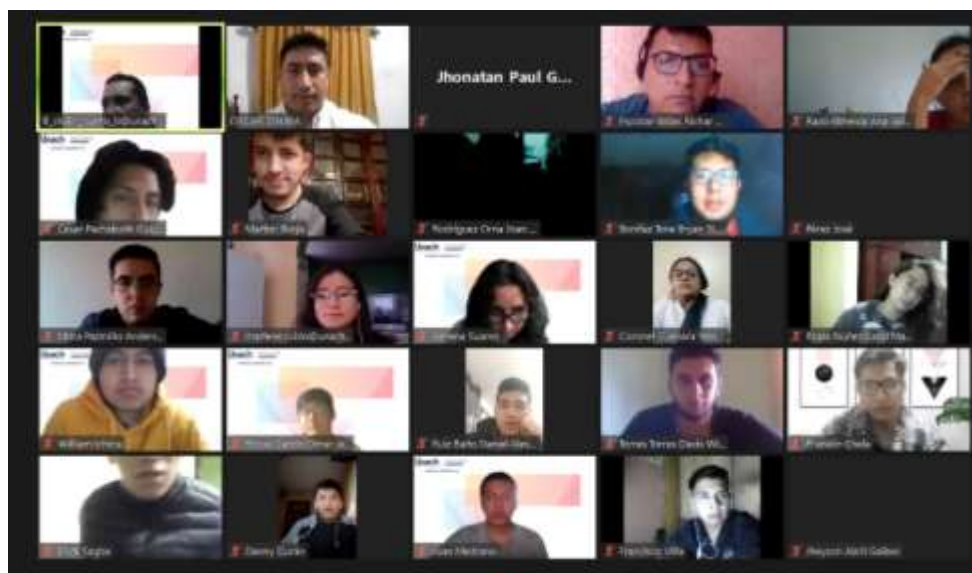


Figura 31. Socialización del tema de investigación

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 4. Cronograma de actividades

En la **Tabla 19** se muestra el cronograma de actividades para la aplicación de la encuesta y socialización de los resultados de la presente investigación.

Tabla 19. *Cronograma de actividades*

Fecha	Lugar	Actividades
03/03/2021	GAD Provincial de Chimborazo	Aplicación de la encuesta y socialización de los resultados de la investigación al Ing. Jorge Velasco, encargado del departamento Técnico de Medio Ambiente
04/03/2021	Universidad Nacional de Chimborazo	Aplicación de la encuesta a estudiantes de la cátedra de Carreteras, a cargo del Ing. Vladimir Pazmiño
05/03/2021	Universidad Nacional de Chimborazo	Socialización de los resultados de la investigación a estudiantes de la cátedra de Carreteras, a cargo del Ing. Vladimir Pazmiño
08/03/2021	Universidad Nacional de Chimborazo	Aplicación de la encuesta y socialización de los resultados de la investigación a estudiantes de la cátedra de Pavimentos, a cargo del Ing. Ronny Cruz

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 5. Encuesta

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO VÍA SECA EN MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS PETREOS DEL CANTÓN GUAMOTE

INTRODUCCIÓN E INSTRUCCIONES

El siguiente cuestionario esta realizado por Cecilia Escobar y Oscar Zumba estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, con el objetivo de realizar su investigación previo a la obtención del título como Ingeniero Civil. La misma que tiene como objetivo indagar acerca de los conocimientos que poseen las personas acerca del reciclaje y reutilización del plástico en carreteras.

Se deberá seleccionar una sola respuesta por cada pregunta

Se agradece su participación.

1. ¿Conoce el material con el cual se fabrican las botellas de plástico desechables?

- Tereftalato de polietileno
- Polietileno de alta densidad
- Polietileno de baja densidad

2. ¿Ha escuchado cuál es el proceso para realizar el reciclaje mecánico?

- Acopio del material, selección, limpieza, trituración o molido
- Lavado, compactado y almacenado
- Selección del material, disolución, pirolisis, aglutinación.
- No

3. ¿Cuál cree que es la principal ventaja de reciclar plástico tipo PET?

- Reduce el efecto invernadero
- Reutilización de envases de botellas
- Obtener ganancias económicas

4. ¿Qué cantidad de plástico cree que se genera aproximadamente en la ciudad de Riobamba al día?

- Menos de 5 toneladas
- 10 Toneladas
- Más de 20 toneladas

5. ¿Conoce o ha escuchado que se puede construir carreteras con plástico reciclado?

- Si
- No

6. ¿Cree usted que con el correcto manejo y tratamiento de plásticos tipo PET se reduce el impacto ambiental?

- Si
- No

Anexo 6. Tabulación de datos de la encuesta

Pregunta 1: ¿Conoce el material con el cual se fabrican las botellas de plástico desechables?

En la **Tabla 20** se muestran los resultados referentes al material con el cual se fabrican las botellas de plástico desechables, mientras que en la **Figura 32** se muestra los porcentajes de cada opción seleccionada.

Tabla 20. *Material con el cual se fabrican las botellas de plástico desechables*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Tereftalato de polietileno	28	25
Polietileno de alta densidad	49	45
Polietileno de baja densidad	33	30
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

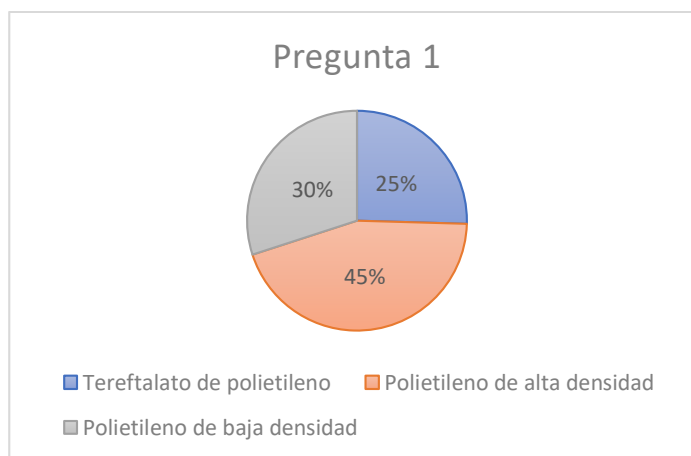


Figura 32. *Material de las botellas de plástico*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

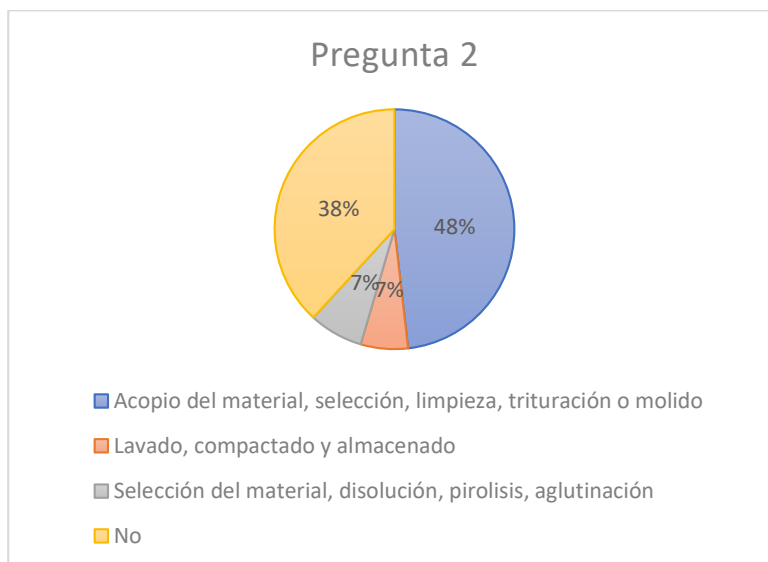
Pregunta 2: ¿Ha escuchado cuál es el proceso para realizar el reciclaje mecánico?

En la **Tabla 21** se muestra los resultados sobre el proceso para realizar el reciclaje mecánico, y los porcentajes respectivos como se visualiza en la **Figura 33**.

Tabla 21. *Proceso de reciclaje mecánico*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Acopio del material, selección, limpieza, trituración o molido	53	48
Lavado, compactado y almacenado	7	7
Selección del material, disolución, pirolisis, aglutinación	8	7
No	42	38
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

**Figura 33.** *Proceso del reciclaje mecánico*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

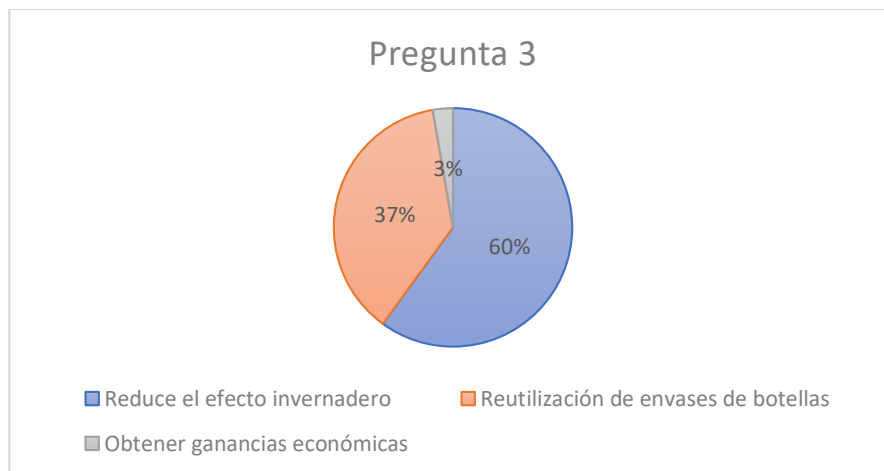
Pregunta 3: ¿Cuál cree que es la principal ventaja de reciclar plástico tipo PET?

En la **Tabla 22** se observa los resultados sobre la principal ventaja de reciclar plástico tipo PET, y los porcentajes respectivos se muestran en la **Figura 34**.

Tabla 22. *Ventaja de reciclar plástico tipo PET*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Reduce el efecto invernadero	66	60
Reutilización de envases de botellas	41	37
Obtener ganancias económicas	3	3
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

**Figura 34.** *Ventaja de reciclar plástico tipo PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Pregunta 4: ¿Qué cantidad de plástico cree que se genera aproximadamente en la ciudad de Riobamba al día?

En la **Tabla 23** se presenta los resultados sobre la cantidad de plástico cree que se genera aproximadamente en la ciudad de Riobamba al día y se representa en la **Figura 35**.

Tabla 23. *Cantidad de plástico que se genera en la ciudad de Riobamba*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Menos de 5 toneladas	19	17
10 toneladas	55	50
Más de 20 toneladas	36	33
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

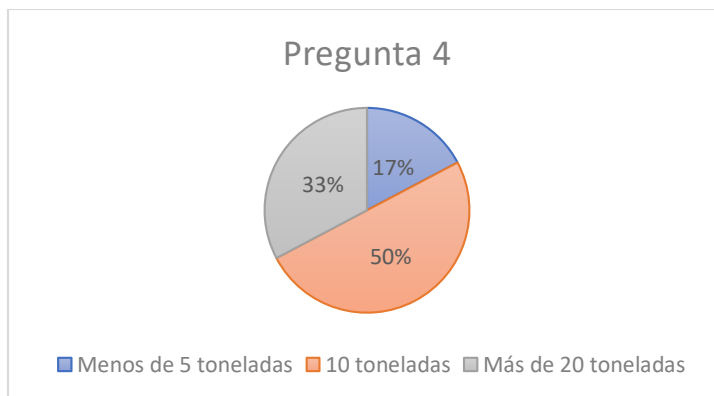


Figura 35. Cantidad de plástico que se genera en la ciudad de Riobamba

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Pregunta 5: ¿Conoce o ha escuchado que se puede construir carreteras con plástico reciclado?

En la **Tabla 24** se muestra los datos obtenidos acerca de si se conoce o ha escuchado que se puede construir carreteras con plástico reciclado, datos que se representan en la **Figura 36**.

Tabla 24. Conocimiento sobre la construcción de carreteras con plástico reciclado

Opción	Cantidad	Porcentaje
Si	49	45
No	61	55
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

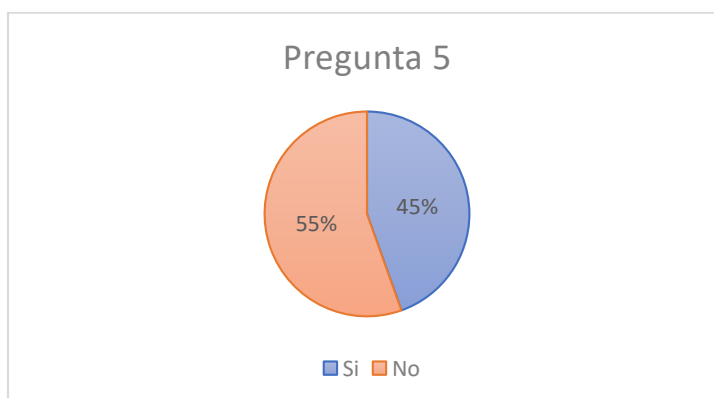


Figura 36. Conocimiento sobre la construcción de carreteras con plástico reciclado

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Pregunta 6: ¿Cree usted que con el correcto manejo y tratamiento de plásticos tipo PET se reduce el impacto ambiental?

En la **Tabla 25** se muestra los datos obtenidos acerca del correcto manejo y tratamiento de plásticos tipo PET reducen el impacto ambiental, datos que se representan en la **Figura 37**.

Tabla 25. *Conocimiento sobre el correcto manejo y tratamiento de plástico tipo PET*

Opción	Cantidad	Porcentaje
Si	102	93
No	8	7
TOTAL	110	100

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

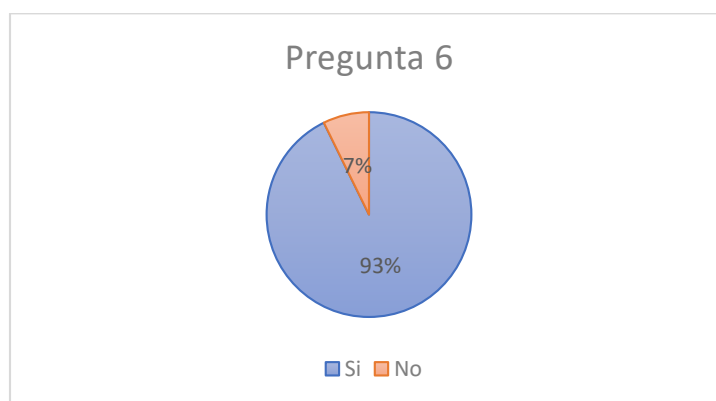


Figura 37. *Conocimiento sobre el correcto manejo y tratamiento de plástico tipo PET*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 7. Contenido de humedad

Con este ensayo se determina el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de árido tanto superficial como de poros. Para esto se dejará una muestra representativa de cada uno de los tamaños que se van a utilizar en la fórmula maestra durante 24 horas en el horno a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ como se observa en la **Figura 38**, mientras que los valores de contenido de humedad se representan en la **Tabla 26**.

Tabla 26. *Contenido de humedad del material pétreo*

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		
3/4	3/8	Arena
1.54	2.15	10.78

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

**Figura 38.** *Contenido de humedad*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 8. Peso específico y Absorción

Se determina la densidad relativa seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS), Aparente y la Absorción del material pétreo mostrado en la **Figura 39**. Este ensayo se lo realizará siguiendo dos métodos según el tamaño del material pues para el agregado grueso y medio se utilizará la norma NTE INEN-857 y el agregado fino se seguirá la norma NTE INEN-856, cuyos valores se presentan en la **Tabla 27**.

Tabla 27. *Peso Específico y Absorción del material pétreo*

AGREGADO	3/4	3/8	Arena
DENSIDAD RELATIVA (SH) (g/cm^3)	2.457	2.449	2.474
DENSIDAD RELATIVA (SSS) (g/cm^3)	2.530	2.527	2.310
DENSIDAD APARENTE (g/cm^3)	2.651	2.657	2.669
ABSORCIÓN (%)	2.989	3.206	11.715

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

**Figura 39.** *Peso específico del material pétreo*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 9. Masas unitarias sueltas y compactas del material pétreo

Este ensayo determina la masa por unidad de volumen de los agregados grueso y fino en estado suelto (MUS) y compacto (MUC) como se observa en el **Figura 40**, mientras que los valores obtenidos se presentan en la **Tabla 28**.

Tabla 28. *Masas Unitarias de los agregados pétreos*

AGREGADO	GRUESO	FINO
MUS (g/cm^3)	1.352	1.198
MUC (g/cm^3)	1.495	1.346

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 40. Masas unitarias sueltas y compactas del material pétreo

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 10. Abrasión o desgaste de los agregados

Se evalúa la resistencia al desgaste de los agregados mediante la Máquina de los Ángeles con la aplicación de una carga abrasiva en este caso 11 esferas de acero con una masa entre 390 y 445 gramos hasta cumplir con las 500 revoluciones como se puede ver en la **Figura 41**, mientras que el valor obtenido se muestra en la **Tabla 29**.

Tabla 29. Abrasión o Desgaste del material pétreo

ABRASIÓN - MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (%)
24.590

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 41. Abrasión o desgaste de los agregados

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 11. Caras fracturadas

Determina el porcentaje de caras fracturadas de una muestra de agregado grueso que presentan una superficie angular, áspera o quebrada como se observa en la **Figura 42**, ya sea de origen natural o por medio de un proceso mecánico de trituración, los porcentajes de caras fracturadas se muestra en la **Tabla 30**.

Tabla 30. Caras Fracturadas del material pétreo

CARAS FRACTURADAS (%)	
DE 3/4" A 1/2"	75.09
DE 1/2" A 3/8"	70.42

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 42. *Caras fracturadas de los agregados*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 12. Partículas planas y alargadas

Determina el porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso, en base a la relación ancho/espesor o longitud/ancho mayor que las dimensiones especificadas en el equipo calibrador como se visualiza en la **Figura 43**, mientras que los porcentajes de partículas planas y alargadas de los agregados se presentan en la **Tabla 31**.

Tabla 31. *Partículas planas y alargadas de los agregados*

PARTÍCULAS	%
PLANAS	9.26
ALARGADAS	9.93

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 43. *Partículas planas y alargadas del material pétreo*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 13. Resistencia a los sulfatos

Determina la resistencia a la desintegración del material pétreo por la acción de sulfato de magnesio, continuando con el proceso de secado al horno para deshidratar parcial o completamente las sales en los poros, posteriormente se rehidrata los agregados simulando la expansión de agua por congelamiento, mediante este ensayo se puede comprobar la calidad de los agregados al ser sometidos a la acción de agentes atmosféricos. Este proceso se observa en la **Figura 44**, mientras que los valores de desgaste se muestran en la **Tabla 32**.

Tabla 32. *Resistencia a los sulfatos de los agregados pétreos*

TAMIZ		TAMIZ + MUESTRA	MASA INICIAL	MASA TOTAL	MASA RETENIDA	% QUE PASA TAMIZ MÁS FINO	GRADACIÓN ORIGINAL	PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL (%)
TAMAÑO	MASA							
SERIE GRUESA								
1/2	442.14	1113.90	671.76	1002.61	845.32	16.65	86	13.46
3/8	440.91	771.76	330.85					
SERIE FINA								
4	446.04	546.52	100.48	502.80	297.53	40.76	67	27.31
8	392.13	493.18	101.05					
16	549.91	650.16	100.25					
30	307.34	408.06	100.72					
50	494.75	595.05	100.30					

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 44. Resistencia a los sulfatos de los agregados pétreos

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 14. Pesos y medidas

Toma de medidas de altura y diámetro, así como los pesos en aire, sumergidos en agua y saturada superficialmente seca de cada una de las briquetas en estudio mismos que servirán para realizar los cálculos pertinentes a las características volumétricas de las briquetas. En la **Tabla 33**, se presenta el promedio de pesos y en la **Tabla 34** medidas de 3 briquetas por cada porcentaje de bitumen.

Tabla 33. Pesos y medidas de la muestra convencional

% Bitumen	MEDIDAS (cm)		PESOS (g)		
	Altura	Diámetro	AIRE	AGUA	SSS
1.0	6.985	10.224	1189.353	644.267	1194.007
2.0	6.974	10.236	1191.587	652.663	1196.820
3.0	6.860	10.254	1198.167	658.130	1204.017
4.0	6.768	10.249	1199.353	665.853	1204.853
5.0	6.788	10.225	1199.090	669.277	1203.487

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 34. Pesos y medidas de la muestra con porcentajes variados de PET

% PET	MEDIDAS (cm)		PESOS (g)		
	Altura	Diámetro	AIRE	AGUA	SSS
1.0	6.917	10.265	1197.103	642.907	1200.877
2.0	7.228	10.221	1188.637	627.620	1192.353
3.0	7.143	10.252	1193.997	627.330	1198.650
4.0	7.357	10.260	1195.643	620.130	1204.527
5.0	7.476	10.230	1191.363	608.337	1199.703
6.0	7.559	10.242	1191.843	607.977	1201.453

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 15. Gravedad Específica Máxima Medida RICE (Gmm)

Determina la densidad máxima medida RICE de la mezcla asfáltica sin compactar a una temperatura de 25 °C, se ensaya utilizando una bomba de vacíos como se muestra en la **Figura 45**, los valores para una mezcla convencional se presentan en la **Tabla 35**, y para la mezcla con PET se visualiza en la **Tabla 36**.

Tabla 35. Gmm RICE de la mezcla convencional

% Bitumen	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
RICE (g/cm^3)	2.387	2.382	2.377	2.356	2.335

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 36. Gmm RICE de la mezcla con PET

% PET	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
RICE (g/cm^3)	2.515	2.441	2.223	2.147	2.166	2.312

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 45. *Ensayo para la obtención del porcentaje de vacíos*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Anexo 16. Gravedad específica BULK (Gsb)

Determina la gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas, cada briqueta es sumergida en baño María a una temperatura de 25 °C registrando la masa sumergida después de un tiempo estimado, seguidamente se seca con una franela y se pesa al aire, la diferencia de masas es empleada para obtener el volumen de agua, como se muestra en la **Figura 46**, en la **Tabla 37** se muestra los valores de Gravedad específica BULK de la mezcla convencional, mientras que la **Tabla 38** presenta los valores Gravedad específica BULK de la mezcla con PET.

Tabla 37. *Gravedad específica BULK de la mezcla convencional*

% Bitumen	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
Gravedad	2.154	2.188	2.192	2.239	2.244
Específica Bulk	2.143	2.196	2.211	2.210	2.243
(g/cm³)	2.193	2.185	2.182	2.226	2.247

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.

Tabla 38. *Gravedad específica BULK de la mezcla + PET*

% PET	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Gravedad	2.134	2.114	2.084	2.043	2.022	2.001
Específica Bulk	2.148	2.095	2.108	2.045	1.995	2.016
(g/cm³)	2.155	2.106	2.077	2.050	2.027	2.008

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.



Figura 46. *Pesos y medidas de la Gravedad específica BULK*

Fuente: Escobar, C. & Zumba, O.