



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL.**

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO
CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO
MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”.**

AUTOR: DANILO SEBASTIÁN VEGA ZURITA

TUTOR: ING. MSC. RODRIGO ACOSTA LOZADA

AMBATO- ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Msc. Rodrigo Acosta, certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”, realizado por el Sr. Danilo Sebastián Vega Zurita egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, octubre de 2016

Ing. Msc. Rodrigo Acosta
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Danilo Sebastián Vega Zurita con C.I: 180450296-9, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”, es de mi completa autoría y fue realizado en el período Abril 2016 – Octubre 2016.

Ambato, octubre de 2016

Danilo Sebastián Vega Zurita

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, octubre de 2016

Danilo Sebastián Vega Zurita

C.I. 180450296-9

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el trabajo experimental, sobre el tema: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.” del egresado Danilo Sebastián Vega Zurita, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman

Ing. Mg. Fricson Moreira
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Byron Cañizares
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por haberme dado la sabiduría y la constancia para alcanzar una meta más, de las muchas que aún me quedan por cumplir.

A mi madre Ruth por haberme dado la vida, su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, gracias a ella he logrado llegar a esta etapa de mi vida y ser la persona que soy y es un privilegio ser su hijo.

A mi hermano Christian que siempre estuvo junto a mí brindándome su apoyo y cariño, aunque ya no este junto a mí, sé que desde el cielo estará orgulloso y alentándome para ser una mejor persona.

A mi esposa Diana, quien ha sido el pilar fundamental para culminar este proyecto, gracias a su apoyo, amor y comprensión incluso en los momentos más difíciles, y por contagiarme de esas ganas de ser alguien mejor cada día.

A esa personita especial que es la luz de mis días, mi gran felicidad, mi mayor alegría, el regalo más grande al convertirme en padre, mi hija Amelia, por quien me esforzare por ser un profesional íntegro e intachable, para que en un futuro se sienta orgullosa de mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la fortaleza para continuar firme en este largo camino y regalarme a todas las personas increíbles que me rodean.

A mi madre que con su infinito amor siempre ha estado conmigo apoyándome e incentivándome a luchar por mis metas.

A mi hermano que fue mi compañero en el transcurso de mi vida, es difícil aceptar no volver a verte ni disfrutar de tu constante alegría y ganas de salir adelante. Ahora eres el mejor recuerdo de mi niñez y juventud, siempre estarás presente en mis pensamientos y corazón, mil gracias hermano y algún día nos volveremos a ver.

A la Universidad Técnica de Ambato, a mi Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme su espacio y entorno para poder formarme e incrementar mis conocimientos para desarrollarme como un excelente profesional.

Al GAD de Ambato, en especial a los Ingenieros encargados del laboratorio de suelos, por la apertura brindada para la realización del proyecto experimental que gracias a su colaboración, conocimiento y experiencias, aportaron significativamente en el mismo.

Al Ing. Rodrigo Acosta por su contribución para que este trabajo experimental se desarrolle de la mejor manera, por su paciencia, tiempo y conocimiento. .

A todos quienes formaron parte de mi diario vivir para alcanzar mi Ingeniería, a mi madre, esposa, primos, amigos y principalmente a mi hija.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINAS
A. PÁGINAS PRELIMINARES	
PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DEL AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General:.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	4
CAPÍTULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1 Definición de Asfalto.....	7
2.1.2 Propiedades del Asfalto.....	8
2.1.3 Tipos de Asfaltos.....	8
2.1.4 Usos del Asfalto.....	9

2.1.5 Asfaltos de Producción Nacional.....	10
2.1.6 Propiedades de las Mezclas	11
2.1.7 Comportamiento de las mezclas asfálticas	13
2.1.8 Métodos de Diseño de las Mezclas Asfálticas	15
2.1.9 Agregados Pétreos.....	17
2.1.1.1 Descripción del Neumático	20
2.1.1.2 Composición de una Llanta	21
2.1.1.3 Proceso de Trituración de Llantas Usadas para su Reciclaje	22
2.1.1.4 Usos Tras el Reciclado	24
2.1.1.5 Proceso por Vía Seca.....	24
2.1.1.6 Proceso por Vía Húmeda.....	26
2.1.1.7 Polvo de Caucho de Fuera de Uso (NFU) Neumáticos.....	28
2.1.1.8 Mezcla Bituminosa en Caliente Modificada con Polvo de Caucho	29
2.1.1.9 Fundamentación Legal	29
2.2 HIPÓTESIS.....	30
2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	30
2.3.1 Variable Independiente.....	30
2.3.2 Variable Dependiente	30
CAPÍTULO III.....	31
METODOLOGÍA	31
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	31
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	33
3.3.1 Variable Independiente.....	33
3.3.2 Variable Dependiente	34
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	35
3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información.....	35
3.5.2 Plan de Análisis.....	35
CAPÍTULO IV.....	36
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	36
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	36

4.1.1. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS	36
a. Análisis Granulométrico.....	36
b. Densidad Relativa de los Agregados.	39
c. Capacidad de Absorción de los Agregados.....	41
d. Determinación del valor de degradación de los agregados, mediante la Maquina de los ángeles.....	42
e. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.....	43
4.1.2. CEMENTO ASFÁLTICO.....	44
4.1.3. CAUCHO DE LLANTAS RECICLADAS	46
4.1.4. DISEÑO MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	50
4.1.5. DISEÑO DE LA MEZCLA CON CAUCHO	65
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
4.2.1 Resultados de ensayo Marshall.....	78
4.2.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	82
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	84
CAPÍTULO V	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1 CONCLUSIONES	85
5.2 RECOMENDACIONES	87
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	88
1. BIBLIOGRAFÍA	88
2. ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Criterio de Diseño de Mezclas Marshall	16
Tabla N° 2. Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA)	16
Tabla N° 3. Requisitos de Graduación	18
Tabla N° 4. Composición típica de llantas de Pasajeros (Automóviles y Camionetas)	22
Tabla N° 5. Composición típica de llantas de MCT (Camiones y Microbuses)	22
Tabla N° 6. Requerimientos del caucho triturado en migas.	23
Tabla N° 7. Determinación de la Población y Muestra	32
Tabla N° 8. Análisis Granulométrico de los Áridos	37
Tabla N° 9. Densidad Relativa del Agregado Grueso	39
Tabla N° 10. Densidad Relativa del Agregado Fino	40
Tabla N° 11. Capacidad de absorción de los agregados	41
Tabla N° 12. Determinación del Valor de Degradación de los Agregados	42
Tabla N° 13. Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados	43
Tabla N° 14. Características del Cemento Asfáltico	45
Tabla N° 15. Granulometría del caucho	48
Tabla N° 16. Dosificación de las mezclas	50
Tabla N° 17. Determinación de Rice	58
Tabla N° 18. Diseño de mezcla asfáltica	60
Tabla N° 19. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto	64
Tabla N° 20. Dosificación de la mezcla con caucho	66
Tabla N° 21. Determinación de Rice con caucho	71
Tabla N° 22. Diseño de mezcla asfáltica con el 1% de caucho	72
Tabla N° 23. Diseño de mezcla asfáltica con el 2% de caucho	73
Tabla N° 24. Diseño de mezcla asfáltica con el 3% de caucho	74
Tabla N° 25. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto con caucho	78
Tabla N° 26. Resumen de resultados	82
Tabla N° 27. Análisis de precios unitarios de asfalto normal	83
Tabla N° 28. Análisis de precios unitarios de asfalto modificado	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico N° 1. Representación de los Volúmenes en una Briqueta Compactada de Mezcla Asfáltica.	14
Grafico N° 2. Sección Transversal de un Neumático Radial	20
Grafico N° 3. Grano de Caucho Triturado	23
Grafico N° 4. El empleo del caucho en la construcción de carreteras	24
Grafico N° 5. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Seca	26
Grafico N° 6. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Húmeda	27
Grafico N° 7. Curva Granulométrica de los Áridos	38
Grafico N° 8. Proceso de trituración del caucho	46
Grafico N° 9. Caucho triturado	47
Grafico N° 10. Curva Granulométrica del Caucho	49
Grafico N° 11. Determinación del peso constante	52
Grafico N° 12. Determinación del peso	52
Grafico N° 13. Preparación de los materiales	53
Grafico N° 14. Fabricación de las briquetas	54
Grafico N° 15. Extracción de las briquetas.....	55
Grafico N° 16. Toma de medidas de la briqueta	55
Grafico N° 17. Pesos al aire, sumergido y superficialmente saturado	56
Grafico N° 18. Baño maría	56
Grafico N° 19. Ensayo Marshall de Estabilidad y Flujo	57
Grafico N° 20. Ensayo Rice	59
Gráfico N° 21. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto	61
Gráfico N° 22. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto	61
Gráfico N° 23. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto .	62
Gráfico N° 24. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto .	62
Gráfico N° 25. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto	63
Gráfico N° 26. Curva de Flujo vs Porcentaje de Asfalto	63
Grafico N° 27. Componentes de la briqueta	67

Grafico N° 28. Medición de la temperatura	67
Grafico N° 29. Incorporación del caucho	68
Grafico N° 30. Incremento de temperatura del caucho	68
Grafico N° 31. Preparación de la mezcla modificada	69
Grafico N° 32. Periodo de digestión	69
Grafico N° 33. Elaboración de las briquetas	70
Grafico N° 34. Briquetas con caucho fuera de uso (CFU)	70
Gráfico N° 35. Curvas de estabilidad vs porcentaje óptimo de asfalto	75
Gráfico N° 36. Curvas de flujo vs porcentaje óptimo de asfalto	75
Gráfico N° 37. Curvas de peso específico Bulk vs porcentaje óptimo de asfalto caucho	76
Gráfico N° 38. Curvas de vacíos con aire vs porcentaje óptimo de asfalto	76
Gráfico N° 39. Curvas de vacíos con aire vs porcentaje óptimo de asfalto	77
Gráfico N° 40. Curva de vacíos llenos de asfalto vs porcentaje óptimo de asfalto ..	77
Gráfico N° 41. Comparación de la Estabilidad	80
Gráfico N° 42. Comparación del Flujo	81

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”.

AUTORA: Danilo Sebastián Vega Zurita

TUTOR: Ing. MSc. Rodrigo Acosta

En este trabajo se describe el proceso seco empleado para obtener el asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de llantas. Asimismo, para el diseño de las mezclas se utilizó el método Marshall, con el cual se podrá evidenciar los beneficios originados. Para la mezcla asfalto-caucho por el proceso seco se añadió el 1, 2 y 3% de polvo de caucho en reemplazo de una pequeña parte del agregado fino, para evaluar las mezclas asfálticas fabricadas se efectuaron las pruebas de gravedad específica máxima teórica, densidad de la mezcla asfáltica (método RICE), densidad Bulk (peso unitario), porcentaje de vacíos de los agregados compactados. Para evaluar el desempeño, se realiza un análisis comparativo de la Estabilidad y el Flujo de la mezcla patrón con la modificada del 1%, 2% y 3%, obteniendo un cumplimiento íntegro de las especificaciones Marshall sólo con la mezcla modificada del 1%. De los resultados obtenidos se puede observar que existe una mejor estabilidad en la mezcla modificada con el 7% de cemento asfáltico que la normal y un mayor flujo con 6,5 y 7%, con lo cual mejora la durabilidad y las deformaciones por las cargas producidas por el tráfico. Con lo que evitaríamos el desgaste prematuro y el aumento de los plazos de mantenimiento y por ende reducen su costo total. Con estos resultados damos un punto de partida para posteriores investigaciones de mezclas modificadas con polvo de caucho y su aplicación en Ecuador.

ABSTRACT

TOPIC: "ANALYSIS OF PERFORMANCE COMPRESSION FORMED BY ASPHALT RECYCLED TIRE RUBBER AS ESTABLISHING ASPHALT PAVEMENT MATERIAL".

AUTHOR: Danilo Vega Sebastián Zurita

TUTOR: Ing. MSc. Rodrigo Acosta

The main objective of this experimental work was to propose a new alternative for improving the asphalt properties, the material chosen was the rubber from the tire recycling and so represent a sustainable environmental contribution and economically profitable to this construction sector because that today tires are harmful to the environment and the global population. With this work we can really determine and verify the results of a possible improvement in the asphalt properties.

This work describes the dry process used to obtain the asphalt modified with crumb rub from recycled car tires. Also, for the mixtures design used the Marshall process, with this will evidence the benefits caused. For the dry process of asphalt- rubber mixture was added the 1%, 2% and 3% of rubber crumb replacing a part of fine aggregate, to evaluate the asphalt mixtures were made tests, asphalt mixture density (RICE process), Bulk density (unitary weight), voids percentage of compacted aggregates. To evaluate the performance, do a comparative analysis of Stability and Flow of the pattern mix with the modified mix of 1%, 2% and 3%, were fulfilled all Marshall specs with the modified mix of 1%. From the results obtained can be seen that there is better stability in the modified mixed with 7% asphalt cement than normal and a greater flow with 6,5 and 7%, which improves durability and deformations loads produced by traffic. With these results give a starting point for further investigation of mixtures modified with rubber powder and its application in Ecuador.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”.

1.2 ANTECEDENTES

A nivel mundial el parque automotor ha venido creciendo aceleradamente al igual que la generación de llantas usadas lo que provoca un gran problema medioambiental debido a que éstas no pueden ser recicladas fácilmente. [1]

Se ha optado por colocarlas en rellenos sanitarios, pero su composición evita su pronta degradación, almacenarlas al aire libre, pero con riesgo de producirse algún incendio o proliferación de alguna enfermedad y finalmente son destinadas a quemarse, contribuyendo a la contaminación medioambiental. [2]

Varios son los ejemplos en los cuales pueden emplearse de buena manera las llantas usadas sean enteras o por partes; reencauche, artesanías, como materia prima para hornos en la industria cementera, aprovechamiento energético en termoeléctricas, como materia prima para producción de pavimento asfáltico. [3]

Según el documento técnico “REUTILIZACIÓN, RECICLADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE NEUMATICOS” del autor Ing. Guillermo Castro, Dic. 2007, manifiesta que:

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema

adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.

Según la memoria de grado “ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE PROCESO SECO” de la autora Náyade Irene Ramírez Palma, de la Universidad de Chile, Dic. 2006, concluye que:

El caucho reciclado obtenido de neumáticos desechados, puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un agregado (proceso seco) o como un modificador del ligante (proceso húmedo). Por otro lado, la utilización del caucho trae beneficios ambientales al valorizar un desecho como son los neumáticos y solucionar el problema de la disposición final de ellos, disminuyendo la contaminación.

Según la memoria de grado “MODIFICACIÓN DE UN ASFALTO CON CAUCHO RECICLADO DE LLANTA PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS” de los autores Ricardo Alberto Angulo Rodríguez y José Luis Duarte Ayala, de la Universidad Industrial de Santander, Agos. 2005, concluye que:

La modificación de asfalto es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento) de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

Un material que cumple con todos estos requisitos es el caucho que se obtiene del reciclaje de las llantas usadas de los automotores o CRLL el cual después de

recibir un tratamiento para su adecuación y en especial para la reducción de su tamaño se puede incorporar al asfalto para de esta manera formar un asfalto modificado con caucho o AMC.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Anualmente a Ecuador ingresan alrededor de 3 millones de llantas, de las cuales cerca de dos millones y medio son desechadas. De las cuales pocas sirven para reencauche, la mayoría se destinan a botaderos, rellenos sanitarios y en el peor de los casos proceden a quemarlas, contribuyendo así al deterioro del medio ambiente. [4]

Existen muchas empresas recicladoras de llantas a nivel nacional, pero aún son pocas las que se dedican también a la reutilización de llantas como un agregado para el asfalto. Recientemente se implementó el plan piloto, en la vía Pifo–Papallactacon la aplicación de 600 metros lineales de mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado, con el fin de evaluar este método y analizar su mayor utilización. [5]

En Tungurahua con el propósito de crear conciencia sobre el reciclaje de llantas usadas, se implementó un plan el cual manifiesta que se debe entregar los neumáticos que terminaron su vida útil a los gestores o prestadores de servicios para el manejo de desechos especiales que involucra a personas naturales, empresas, públicas y privadas, nacional o extranjeras que dentro del territorio nacional realicen actividades de fabricación, importación, comercialización y distribución porque son los encargados de la implementación y ejecución de planes de gestión integral de desechos. [6]

En Ambato aún existen llantas usadas en botaderos o rellenos sanitarios, conociendo que esto agrava la contaminación ambiental debido a que una llanta tarda 500 años en degradarse. Comercial Cisneros tuvo una gran iniciativa al reciclar llantas, triturarlas y enviarlas a otro país para que sirviesen como combustible, aportando inmensamente a nuestra ciudad. [7]

Con el objetivo de comprobar las propiedades de durabilidad que previene el agrietamiento del cemento asfáltico, mejora de la adherencia en superficies mojadas para disminuir su incidencia en accidentes de tránsito y ayuda a reducir el ruido que se transmite a través del pavimento, pero principalmente beneficiar al cuidado ambiental

con la aplicación del caucho triturado de las llantas que han sido desechadas al final de su vida útil, es primordial realizar el análisis de la aplicación de la mezcla del caucho obtenido de llantas recicladas con el asfalto. [8]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Realizar el análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Determinar las ventajas y desventajas de la mezcla de asfalto con el caucho como material granular a través de ensayos necesarios.
- Estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas a las cuales se les ha incorporado caucho como material granular.
- Evaluar el comportamiento y que efectos produce la mezcla asfáltica en caliente, con la incorporación de grano de caucho producto del desecho de llantas usadas.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Con la finalidad de sustentar la investigación teórica de este estudio, se realizó la revisión de diversos trabajos de investigación realizados con anterioridad, los cuales muestran los usos del caucho reciclado de llantas como un árido más o como sustituto de una pequeña parte del agregado fino. Para la elaboración del tema es necesario conocer conceptos sobre el asfalto, su composición y propiedades, el caucho de llantas y su composición, entre otros aspectos descritos a continuación:

Asfaltos

Son materiales aglomerados sólidos o semisólidos, de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse; sus constituyentes predominantes son betunes que se encuentran en la naturaleza en forma sólida o semisólida; también se obtienen de la destilación del petróleo o combinaciones de éstos entre sí con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones. [9]

Asfalto de Petróleo

Es el producto de residuo obtenido de la destilación en la unidad de vacío. [9]

Asfalto Natural

Asfalto formado naturalmente por la migración de petróleos hacia la superficie terrestre, seguida o combinada con la volatilización de sus componentes más ligeros y que se los encuentra mezclados, en mayor o menor proporción, con materia mineral. [10]

Áridos o Agregados

Nombre genérico para distintos conjuntos de partículas minerales, de diferentes tamaños, que proceden de la fragmentación natural o artificial de las Rocas. [10]

Concreto Asfáltico

El Concreto Asfáltico consiste en una o varias capas compactadas de una mezcla de agregados minerales, asfalto líquido, producido en plantas especializadas o en el sitio con máquinas capaces de mezclar agregados y asfalto sobre la superficie de la vía. [11]

Cementos Asfálticos

Los Cementos Asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a temperatura ambiente.

Los Cementos Asfálticos mezclados con agregados forman concreto asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura. [11]

Cemento asfáltico AC-20

Es un sistema homogéneo de asfaltenos y aceites aromáticos (aromáticos, malténicos y resinas), que posee propiedades adecuadas como ligante para la construcción de carreteras y pavimentos asfálticos. [12]

Mezcla caliente en planta

Mezcla preparada en planta y en caliente, y que debe ser tendida y compactada cuando todavía está con la temperatura especificada. [10]

Mezcla fría en planta

Mezcla que se prepara, se tiende y se compacta a la temperatura ambiente. [10]

Pavimento.

El Pavimento Flexible es una estructura formada por varias capas como lo son la subrasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada. [13]

Capa de Rodadura.

Con este nombre se denomina a la última capa que se construye, y es sobre ella donde circulan los vehículos durante el período de servicio del pavimento. Por esto, debe ser resistente a la abrasión producida por el tráfico y a los condicionamientos del

intemperismo; además, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie del pavimento. La textura superficial de la capa de rodadura debe presentar dos características para atender adecuadamente la circulación de los vehículos: la suavidad, para que sea cómoda, y la rugosidad, para que sea segura. [13]

Pavimentos con Superficie de Concreto Asfáltico.

Es aquel que posee una capa de rodadura conformada por una carpeta de concreto asfáltico y que está constituida por material pétreo y un producto asfáltico. Su función es el de proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada. Cuando se colocan capas en espesores de 5 cm. o más, se considera que contribuye en conjunto con la base a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos a las capas inferiores, hasta descargarlas en el estrato resistente. [13]

2.1.1 Definición de Asfalto

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, principalmente, por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos.

El Betún Según ASTM, es una sustancia ligante (sólida, semisólida o viscosa) oscura o negra, natural o artificial, compuesta principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfálticas.

El Asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientes normales.

Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El Asfalto usado en Pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas del agregado y por lo tanto es un excelente cemento para unir partículas del agregado en un pavimento de mezcla caliente.

El Cemento Asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales.

Esto significa que un pavimento de cemento asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daños químicos. [14]

2.1.2 Propiedades del Asfalto

Propiedades Químicas: Básicamente, el Asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano puede separarse en dos partes principales asfaltenos y maltenos.

Propiedades Físicas: Las propiedades físicas del Asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: Durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento. [14]

2.1.3 Tipos de Asfaltos

Asfaltos Oxidados o Soplados

Estos son Asfaltos sometidos a un proceso de deshidrogenación y luego a un proceso de polimeración. A elevada temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas. El proceso de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas: [15]

- Aumento del peso específico.
- Aumento de la viscosidad.

Asfaltos Sólidos o Duros

Estos son Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes. [15]

Asfaltos Líquidos

También denominados Asfaltos Rebajados o cutbacks, son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. [15]

- **Asfalto de Curado Rápido:** cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiestokes.
- **Asfalto de Curado Medio:** si el disolvente es queroseno, se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.

Asfalto de Curado Lento: su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (SlowCuring), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes. Road oil: Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC). [15]

2.1.4 Usos del Asfalto

Como el Asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

Además el Asfalto es utilizado en la industria impermeabilizante y de pinturas asfálticas, revestimiento de diques y canales y materia prima para las emulsiones asfálticas. El cemento asfáltico a temperatura ambiente, es semisólido y altamente viscoso, por lo que se requiere licuarlo temporalmente por calentamiento, para su manejo durante las operaciones de construcción, tales como bombeo por tubería, transporte de cisternas, mezcla con agregado, etc. [16]

2.1.5 Asfaltos de Producción Nacional

1. Asfalto de Origen Artificial

Es aquel obtenido por la destilación del petróleo. Esta actividad principalmente se la realiza en refinerías. Según la forma como se presente el producto final, podemos tener asfaltos sólidos, semisólidos y líquidos. [17]

2. Asfalto Sólido

Se obtiene con el enfriamiento del asfalto líquido obtenido en las plantas asfálticas. Asfalto semisólido. También conocido como asfalto soplado u oxidado, se lo obtiene cuando se incluye aire a través del residuo durante el último proceso del refinamiento. Este posee propiedades especiales tales como una rigidez muy alta y consistencia elevada ante las temperaturas que se lo expone.

Los asfaltos semisólidos no se usan directamente como capa de rodadura, pero se los aplica para rellenar juntas de pavimentos de hormigón y en pavimentos rígidos viejos para sellado inferior cuando se presentan huecos.

3. Asfalto Líquido

Denominado también Cutback, en el MOP es conocido como Asfalto Rebajado, acerca de éste, el libro de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP – 001 – F – 2002 determina que es “un cemento asfáltico, líquido a la temperatura ambiente, que se obtiene durante el proceso de refinación del petróleo o calentando y diluyendo un cemento asfáltico, mediante la adición de un destilado volátil del mismo petróleo: nafta, gasolina, kerosén, aceites combustibles, aceites diésel o combustibles para propulsión a chorro”. [17]

Son materiales que tienen una cierta velocidad de curado: rápido (RC), medio (MC) y lento (SC).

Los (RC) poseen diluyentes con un bajo punto de ebullición que se evaporan deprisa como la gasolina o la nafta.

Los (MC) tienen diluyentes con un punto de ebullición medio que se evaporan no tan deprisa como el kerosén y los combustibles para propulsión a chorro.

Finalmente los (SC) conllevan diluyentes que se evaporan muy lentamente como los aceites combustibles y diésel. [17]

Mezcla Asfáltica

Es una combinación de Asfalto y Agregados minerales pétreos en proporciones exactas. [18]

Mezcla Asfalto – Caucho

Es una mezcla que interactuada entre el cemento asfáltico usando la pavimentación, y el caucho de los neumáticos reciclados. [18]

Mezclas Asfálticas en Caliente

La mezcla asfáltica la constituye un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla.

Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. Se denominan “mezclas en caliente”, pues para lograr que los áridos se mezclen homogéneamente con el asfalto, ambos componentes se llevan a temperaturas altas, sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. [19]

2.1.6 Propiedades de las Mezclas

Las propiedades fundamentales que deben tener las mezclas asfálticas son las siguientes:

- **Durabilidad:** propiedad de la mezcla que hace que el pavimento sea capaz de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima. Éste último, afecta principalmente al asfalto de la capa superficial por estar en contacto con el sol, el aire y el agua, pues produce que este material, pierda las propiedades aglutinantes, se oxide, se endurece y envejece, afectando la vida útil del pavimento. [19]
- **Estabilidad:** se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la mezcla y de la fricción interna.

La fricción interna es aportada por el material pétreo y depende del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. Las mezclas con materiales más gruesos y de caras angulosas tendrán mayor estabilidad que mezclas con materiales finos.

La cohesión es la fuerza aglutinante de la mezcla que depende fundamentalmente de la capacidad que tenga el asfalto de mantener unidas las partículas del agregado. Esta propiedad varía inversamente con la temperatura y aumenta con el contenido de asfalto hasta llegar a un óptimo, luego hace un efecto lubricador;

La pérdida de estabilidad en un pavimento se traduce en ahuellamientos y ondulaciones. [19]

- **Flexibilidad:** capacidad de la mezcla de adaptarse a las deformaciones por asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.
- **Resistencia a la fatiga:** capacidad del pavimento asfáltico de soportar esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.
- **Impermeabilidad:** las mezclas deben ser en lo posible totalmente impermeables, de manera que el agua superficial no pueda atravesar hacia las

capas inferiores, evitando con ello que éstas puedan perder capacidad de soporte.

- **Resistencia al deslizamiento:** capacidad del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmedo.
- **Trabajabilidad:** se refiere a la capacidad que tenga la mezcla de colocarse y compactarse con facilidad.[19]

2.1.7 Comportamiento de las mezclas asfálticas

Una muestra de mezcla de pavimento preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

Densidad.- La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla).La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado, para obtener un rendimiento duradero. [20]

Vacíos de aire.-Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestra de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico. [20]

Vacíos en el agregado mineral.- Los vacíos en el mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado)

Y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA, más espacio Habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. [20]

Grafico N° 1. Representación de los Volúmenes en una Briqueta Compactada de Mezcla Asfáltica.



Fuente: comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA).

Contenido de asfalto.- La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlar con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado. [20]

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción.

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir

uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. [20]

2.1.8 Métodos de Diseño de las Mezclas Asfálticas

Método Marshall

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.[21]

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5”), y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½”) de alto y 102 mm (4”) de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto- agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos. [21]

Especificaciones de la Metodología

La selección del contenido óptimo de Asfalto depende de muchos criterios; Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este

contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 1). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla. [21]

Tabla N° 1. Criterio de Diseño de Mezclas Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Instituto Mexicano del Transporte

Tabla N° 2. Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Instituto Mexicano del Transporte

Método Superpave

Iniciando el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral; desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento.

Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados. [21]

2.1.9 Agregados Pétreos

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. [22]

Tipos de Agregados Pétreos

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

Agregados Naturales

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final. [22]

Agregados de Trituración

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas. [22]

Agregados Artificiales

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables. [22]

Agregados Marginales

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes. [22]

Agregados para Mezcla en Planta.

Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc., de tal manera que cumplan los requisitos de graduación que se establecen en la tabla 3, y se clasifican en “A”, “B” y “C”, de acuerdo a lo establecido a continuación: [10]

Tabla N° 3. Requisitos de Graduación

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	N°4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
N° 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
N° 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
N° 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
N° 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
N° 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
N° 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
N° 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.
M.O.P. 2002

- **Agregados tipo A:** Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se puede añadir relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación antes mencionadas. Este relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland, si así se establece para la obra. [10]
- **Agregados tipo B:** Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en la zona del proyecto.
- **Agregados tipo C:** Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en las especificaciones. [10]

Neumático

Dispositivo mecánico hecho de caucho, químicos, acero u otros materiales que cuando son montados en una rueda del automotor proveen la tracción y soporta la carga del automotor. [23]

Caucho

Es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. [18]

Neumático usado

Neumático que ha sido desgastado en su banda de rodamiento debido al uso (carcasa para reencauche). [24]

Reciclaje

Es el proceso de transformación mediante el cual se recupera una cantidad apreciable de material convertido en residuos o desechos, para ser aprovechado como materia prima no virgen en el proceso de producción para generar un nuevo producto. [18]

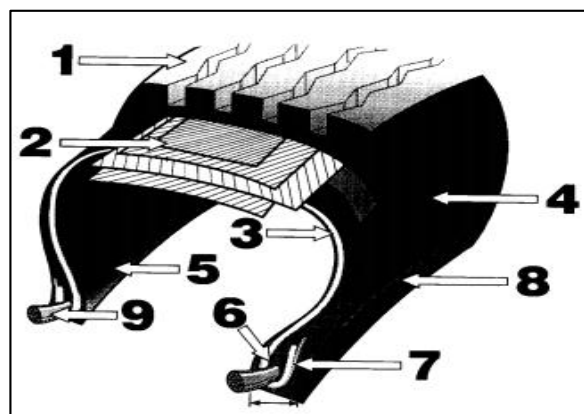
Reutilización

Múltiples son los ejemplos en los cuales pueden utilizarse, bien los neumáticos totalmente enteros o sus flancos y banda de rodadura: parques infantiles, defensa de muelles o embarcaciones, rompeolas, etc., o más directamente relacionado con los neumáticos, barreras anti-ruídos, taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, o utilidades agrícolas para retener el agua, controlar la erosión, etc.

El recauchutado del neumático usado es un proceso que permite reutilizar la carcasa del neumático, al colocar una nueva banda de rodadura, siempre que conserve las cualidades que garanticen su uso, como si fuera uno nuevo. [25]

2.1.1.1 Descripción del Neumático

Grafico N° 2. Sección Transversal de un Neumático Radial



Fuente: Manual de Información Técnica de Neumáticos

1.- Banda de rodadura.- Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interface entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado. [26]

2.- Cinturón (Estabilizador).- Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia a al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.

3.- Capa radial.- La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento. [26]

4.- Costado (Pared).- El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial. [26]

5.- Sellante.- Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.

6.- Relleno.- Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

7.- Refuerzo de la ceja (talón).- Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

8.- Ribete.- Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rim.

9.- Talón.- Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rim. [26]

2.1.1.2 Composición de una Llanta

La estructura del neumático está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero y/o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de tracción, frenado y adherencia. [27]

Tabla N° 4. Composición típica de llantas de Pasajeros (Automóviles y Camionetas)

Caucho natural	14 %
Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	8,6 Kg
Volumen	0.06 m ³

Fuente: Materiales y Compuestos para la industria del Neumático

Tabla N° 5. Composición típica de llantas de MCT (Camiones y Microbuses)

Caucho Natural	27 %
Caucho sintético	14%
Carbón negro	28%
Acero	14 - 15%
Fibra, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	45,4 Kg.
Volumen	0.36 m ³

Fuente: Materiales y Compuestos para la industria del Neumático

2.1.1.3 Proceso de Trituración de Llantas Usadas para su Reciclaje

Este proceso se realiza con máquinas trituradoras para separar el caucho de los otros componentes de la llanta como acero y textiles reduciéndola en partículas manipulables para la elaboración de nuevos productos.

Actualmente existen dos métodos de trituración que son: trituración mecánica y trituración criogénica. [28]

Trituración Mecánica

Este proceso es puramente mecánico, no existen agentes químicos ni adición de calor. Consta de pasar el neumático inicial por una serie de triturados sucesivos hasta conseguir reducir su volumen a un tamaño de salida muy pequeño, el cual dependerá del uso posterior que se le vaya a dar al producto. [28]

Trituración Criogénica

Este método necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. La baja calidad de los productos obtenidos y la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre si y de los materiales textiles que forman el neumático provoca que este sistema sea poco recomendable. [28]

Grafico N° 3. Grano de Caucho Triturado



Fuente: Reciclaje Verde (Blog sobre reciclaje y medioambiente)

Tabla N° 6. Requerimientos del caucho triturado en migas.

REQUERIMIENTOS DEL CAUCHO TRITURADO EN MIGAS		
(1) Granulometría		
Tamices		Porcentaje que pasa, %
mm	ASTM	
2	N° 10	100
0,85	N° 20	60 – 100
0,63	N° 30	50 – 90
0,3	N° 50	0 – 45
0,08	N° 200	0 – 5

Fuente: Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas
Asfálticas en caliente mediante proceso seco.

2.1.1.4 Usos Tras el Reciclado

Una aplicación realmente interesante para caucho granulado es la aplicación como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso. [25]

Grafico N° 4. El empleo del caucho en la construcción de carreteras

CAUCHO en la Capa de rodadura	<ul style="list-style-type: none">· Mayor media de vida· Más elasticidad (menos deformaciones)· Más resistencia al agrietamiento (frío).· Más resistencia al arrastramiento (calor).
PAVIMENTO DRENANTE (POROSO)	<ul style="list-style-type: none">· Impide acumulación de agua.· Incrementa adherencia.· Evita proyecciones de agua.· Buenas condiciones ópticas· Bajo nivel de ruido.

Fuente: reutilización, reciclado y Disposición final de Neumáticos

La incorporación de caucho granulado en el pavimento de las carreteras se puede realizar de dos maneras diferentes:

2.1.1.5 Proceso por Vía Seca

El proceso seco es cualquier método donde el caucho reciclado de llantas es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico. Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el caucho reciclado de llantas como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el 1 y 3 % del peso total de los agregados en la mezcla.

Las dos tecnologías más comunes en estados unidos para el uso del CRLI por la vía seca son la tecnología PlusRide, la tecnología Genérica o sistema TAK y otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países. [29]

PlusRide

Esta tecnología fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los Estados Unidos bajo el nombre comercial de PlusRide por la firma Enviro Tire. El CRLI es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van desde 4.2 mm a 2.0 mm (tamiz No 10). El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 %, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 %. [29]

Genérica

Esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 para producir mezclas asfálticas en caliente con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el CRLI grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del CRLI es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia del PlusRide, la granulometría del CRLI se divide en dos fracciones en la que la parte fina se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica. En este sistema, el contenido de CRLI no debe exceder el 2 % del peso total de la mezcla para capas de rodadura. [29]

Convencional

Esta tecnología fue desarrollada en España para usar el CRLI en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un 2% del peso total de los agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados. El proceso seco puede ser usado para mezclas asfálticas en caliente en granulometrías densas, abiertas o discontinuas. No puede ser usado en otro tipo de

aplicaciones como mezclas en frío, sellos, o tratamientos superficiales por ser un proceso en el que no se modifica el ligante. [29]

Grafico N° 5. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Seca



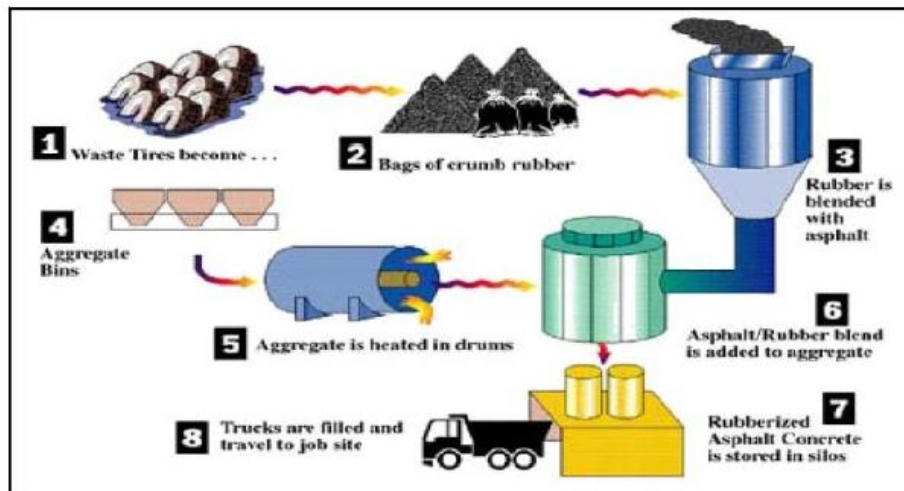
Fuente: Asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado

2.1.1.6 Proceso por Vía Húmeda

En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el ligante. En este proceso, el GCR es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado. El cemento asfáltico que ha sido modificado con GCR es llamado asfalto-caucho y es el resultado de la interacción del GCR con el ligante, donde la reacción que ocurre entre los dos no es una reacción de tipo química. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el cemento asfáltico hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del GCR, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento de asfáltico, y el uso de otros aditivos. Ver ilustración Gráfico 5.

Entre las tecnologías usadas en el proceso húmedo están: el mezclado por batchadas o tecnología McDonald, mezclado continuo, y mezclado terminal. (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005). [30]

Grafico N° 6. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Húmeda



Fuente: Asfalto Modificado con Grano de Caucho Reciclado

La Tecnología por Bachadas

Consiste en una producción de mezclado de asfalto y caucho por bachadas. Las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas y se basaron en la tecnología McDonald, que fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años 1970 por la Arizona Refining Company (ARCO) (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005). Hoy en día existen numerosas patentes relacionadas con la tecnología McDonald, muchas de las cuales ya han expirado y otras cuantas todavía se encuentran vigentes. [30]

La Tecnología Continúa

Consiste en un sistema de producción de mezclado de asfalto y caucho de manera continua. La tecnología de mezclado continua fue desarrollada en Florida a finales de los años 1980 y es conocida como Florida WetProcess. En este proceso, un tamaño fino 0.18 mm (tamiz No. 80) de GCR es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo. La tecnología de Florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de GCR, entre 8 y 10 por ciento, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, disminuye la temperatura de mezclado, y acorta el tiempo de reacción. El proceso húmedo de Florida aún no ha sido patentado. [30]

La Tecnología Terminal

Es un proceso húmedo que brinda la capacidad de mezclar o combinar el cemento asfáltico con el GCR y conservar el producto durante amplios períodos de tiempo. Este producto asfalto-caucho tiene una amplia duración de almacenamiento y puede ser mezclado en la refinería donde se produce el cemento asfáltico por cualquiera de las dos tecnologías, continua o por bachadas. [30]

2.1.1.7 Polvo de Caucho de Fuera de Uso (NFU) Neumáticos

El polvo de caucho procedente de NFU para su aplicación en obras de pavimentación es el que resulta de triturar neumáticos fuera de uso hasta tamaños inferiores a 1 mm y cuyo contenido en partículas inferiores a 0.063 es inferior al 15 %, estará compuesto por caucho natural y sintético y no contendrá materiales ferromagnéticos, textiles o contaminantes en proporciones superiores al 0,01%, 0,5% y 0,25 % respectivamente. [31]

Caucho Natural.- Producto natural que se extrae del árbol Hevea en forma de látex, y que posteriormente se coagula y seca; está constituido fundamentalmente por cis-1,4-poliisopreno. [31]

Caucho Sintético.- Nombre genérico de todos los cauchos obtenidos por síntesis. [31]

Negro de carbono.- Material constituido por finísimas partículas de carbono de forma esférica con diámetros inferiores a 100nm, generalmente aglomeradas en otras de mayor tamaño. [31]

Vulcanización.- Proceso que consiste en unir las cadenas moleculares del caucho entre sí, y que permite transformar un material plástico en elástico. [31]

Caucho de NFU.- Material constituido por partículas y polvo de caucho vulcanizado procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (NFU) donde se han separado los metales, los tejidos y otras impurezas extrañas al neumático. Está compuesto principalmente por cauchos naturales y sintéticos vulcanizados, negro de carbono, azufre y otros aditivos. [31]

Aditivos.- Productos y sustancias químicas que se incorporan en cantidades pequeñas al betún y a las mezclas bituminosas para mejorar sus prestaciones en combinación con el caucho de NFU. [31]

2.1.1.8 Mezcla Bituminosa en Caliente Modificada con Polvo de Caucho

Es la combinación de un ligante hidrocarbonato, áridos (incluido el polvo mineral), caucho de NFU y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por un película homogénea de ligante. [31]

Maduración o Digestión

Proceso de interacción entre el polvo de caucho, el betún asfáltico y eventualmente los aditivos, en el que el caucho fundamentalmente absorbe las fracciones más ligeras del betún. [31]

La digestión es un proceso que prolifera desde la superficie de la partícula de caucho hacia su interior, por lo que será más rápida cuanto más fino sea el polvo de caucho, menor su proporción dentro de la mezcla asfáltica y cuanto más elevada sea la temperatura de la mezcla y el tiempo que se mantenga ésta caliente durante el proceso de fabricación y puesta en obra. En laboratorio, la digestión puede simularse manteniendo la mezcla en horno, a una temperatura en un rango 150-170° C y un tiempo de una a dos horas, previamente a la compactación de la probeta. [19]

2.1.1.9 Fundamentación Legal

Norma Técnica Ecuatoriana 2680:2013, (INEN, 2013) esta norma establece los requisitos y métodos de ensayo permitidos para realizar mezclas asfalto- caucho, aplicable para la industria de la construcción.

Norma Técnica Ecuatoriana 2515:2011, (INEN, 2011) esta norma establece los requerimientos para la conformación de la mezcla.

Norma Técnica Ecuatoriana 0154:1987, (INEN, 1987) Esta norma establece las dimensiones nominales de las aberturas de las mallas de alambre y de las placas perforadas que se usan en los tamices de ensayo.

Norma Técnica Ecuatoriana 2061:1987, (INEN, 1987) Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los asfaltos diluidos obtenidos de la mezcla de productos derivados de la refinación del petróleo.

ASTM D 1559-89, (Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus), Diseño de Mezclas Método Marshall.

ASTM D2041-11, (Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures) o Clasificación de Suelos y Agregados para la construcción de vías.

ASTM D1188-07, (Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples) o (AASHTO T 275) Sirve para determinar valores de densidad bulk, que son utilizados en muchos métodos de selección de proporciones para mezclas de agregados

ASTM D6648-08, (Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer), Sirve para el análisis de la respuesta del pavimento ante la carga de tráfico.

2.2 HIPÓTESIS

El Asfalto con Caucho Reciclado como Agregado en Reemplazo Parcial de los Agregados Permite Mantener o Mejorar su Resistencia a la Compresión.

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Independiente

El Asfalto con Caucho Reciclado como Agregado en Reemplazo parcial de los Agregados.

2.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la Compresión del Asfalto

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN APLICADA

Una vez estudiado y comprendido el contenido sobre la utilización de caucho de llanta reciclada como agregado en el asfalto, se ha observado que han obtenido resultados probables. Por lo tanto, se va a poner en práctica con la finalidad de encontrar características que comprueben una mejor calidad de asfalto teniendo al caucho como agregado.

INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Su aplicación es necesaria para realizar briquetas de asfalto común, y briquetas de asfalto con agregado de caucho en porcentajes del 1% y 2% respectivamente, en sustitución parcial del agregado fino. Para este proceso se contara con equipo adecuado para que la dosificación sea correcta.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación experimental es esencial para realizar los ensayos a compresión con las briquetas elaboradas, con el objetivo de comparar e identificar cuál es el porcentaje de caucho como agregado recomendable para conseguir mayor resistencia en relación al asfalto común. Contribuyendo a la mejora de las obras civiles y al mismo tiempo al cuidado medioambiental.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que el presente trabajo se basa en lo experimental, no es necesario calcular una muestra porque mientras más elementos se estudien mejores resultados se pueden obtener. Entonces mi población y muestra con la que se va a experimentar está conformada por 60 briquetas de asfalto, siendo 15 de éstas de asfalto común y 45 con

agregado parcial de caucho de llanta reciclada en distintos porcentajes anteriormente estudiados. Se realizarán ensayos con las probetas de asfalto normal y con las probetas de asfalto con agregado de caucho de acuerdo a la norma ASTM D 1559-89 para conseguir resultados confiables. La comparación entre las briquetas de asfalto común con las briquetas de asfalto con caucho agregado, nos presentarán la variación de resistencia, por ende, se identificará el porcentaje factible para la mejora de la misma.

Tabla N° 7. Determinación de la Población y Muestra

REEMPLAZO DE CAUCHO DE LLANTAS RECICLADAS COMO COMPONENTE DEL ASFALTO			
# de Muestras	% de Cemento Asfáltico	El caucho sustituye una parte del árido fino	
		Agregado Grueso	Agregado Fino
3	5	Muestra Patrón	
3	5,5	Muestra Patrón	
3	6	Muestra Patrón	
3	6,5	Muestra Patrón	
3	7	Muestra Patrón	
Porcentaje de Caucho de 1 %			
3	5	Constante	X
3	5.5	Constante	X
3	6	Constante	X
3	6.5	Constante	X
3	7	Constante	X
Porcentaje de Caucho de 2 %			
3	5	Constante	X
3	5.5	Constante	X
3	6	Constante	X
3	6.5	Constante	X
3	7	Constante	X
Porcentaje de Caucho de 3 %			
3	5	Constante	X
3	5.5	Constante	X
3	6	Constante	X
3	6.5	Constante	X
3	7	Constante	X
Total =		60	

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

El Asfalto con Caucho Reciclado como Agregado en Reemplazo parcial de los Agregados.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El asfalto con caucho adicionado es la combinación de la grava, gravilla, arena y cemento asfáltico, con agregados mínimos de caucho molido reemplazando parcialmente al agregado fino, identificando y analizando la variación de resistencia.	Asfalto	Resistencia a la Compresión	¿En qué proporciones los elementos de la mezcla asfáltica deben combinarse para probar una correcta resistencia?	Ensayos de laboratorio. Normas INEN, ASTM.
	Caucho	Calidad	¿Qué características debe tener el caucho para ser incorporado en mezclas asfálticas?	Investigación bibliográfica y experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje recomendable para agregar a la mezcla asfáltica?	Ensayos de laboratorio. Análisis y comparación de resultados.

Cuadro 1. Operación de la Variable Independiente.

3.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la Compresión del Asfalto.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La resistencia a la compresión del asfalto es la capacidad máxima de soportar una carga dependiendo de la dosificación y calidad de la elaboración de las briquetas.	Calidad del Asfalto	Calidad	¿Qué características presenta el asfalto para soportar mayor compresión?	Ensayos de laboratorio. Observación.
	Ensayo de compresión	Volumen y Peso	¿Cuál es el volumen y peso de las briquetas?	Instrumentos de laboratorio.
		Carga axial	¿Cuál es la carga máxima soportada por las briquetas?	Ensayos de laboratorio. Análisis y comparación de resultados.

Cuadro 2. Operación de la Variable Dependiente.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Determinar la resistencia a compresión del Asfalto al añadir caucho reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino.
2. ¿De qué personas u objetos?	De briquetas de Asfalto elaboradas con diversos porcentajes de caucho molido.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Variación en la resistencia a la compresión de briquetas de Asfalto.
4. ¿Quién?	Danilo Sebastián Vega Zurita
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato. Laboratorio de Control de Calidad de Suelos del GAD Municipal de Ambato.
6. ¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

Cuadro 3. Recolección de Información.

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información

- Revisión y clasificación puntualizada de la información recolectada.
- Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis, manejo de la información.
- Representación gráfica de resultados.

3.5.2 Plan de Análisis

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis, determinación de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En el presente capítulo se describirá el proceso desarrollado para la investigación, es decir, la metodología que se aplicó, los procedimientos empleados para la realización de los ensayos, las características de los materiales utilizados y la determinación de la mejor composición de las mezclas asfálticas con granos de caucho.

Para la realización del estudio por vía seca, es necesario partir de una mezcla patrón con la finalidad de compararla con la mezcla a la cual se le añadirá un porcentaje determinado de caucho. Estas mezclas van a contener los mismos agregados y cemento asfáltico, pero no en la misma cantidad.

4.1.1. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

Al referirse de los agregados, es importante aclarar que el agregado grueso es la porción que pasa por los tamices #3/4" hasta el #4" y para el agregado fino son utilizados tamices #8 hasta el #200, denominándose al obtenido de éste último como filler o llenante.

Estos agregados fueron obtenidos de la cantera "JEAL constructora" ubicada en el sector de las Viñas de la ciudad de Ambato.



De acuerdo a las normas MOP (NEVI – 12) e INEN, se procedieron a realizar los siguientes ensayos a los agregados:

a. Análisis Granulométrico.

Se puede definir a la granulometría como la clasificación por tamaños de las partículas que constituyen el agregado pétreo. Los tamaños de las partículas son obtenidos a través de la utilización de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. A continuación, se presenta el resultado del análisis granulométrico y la respectiva curva

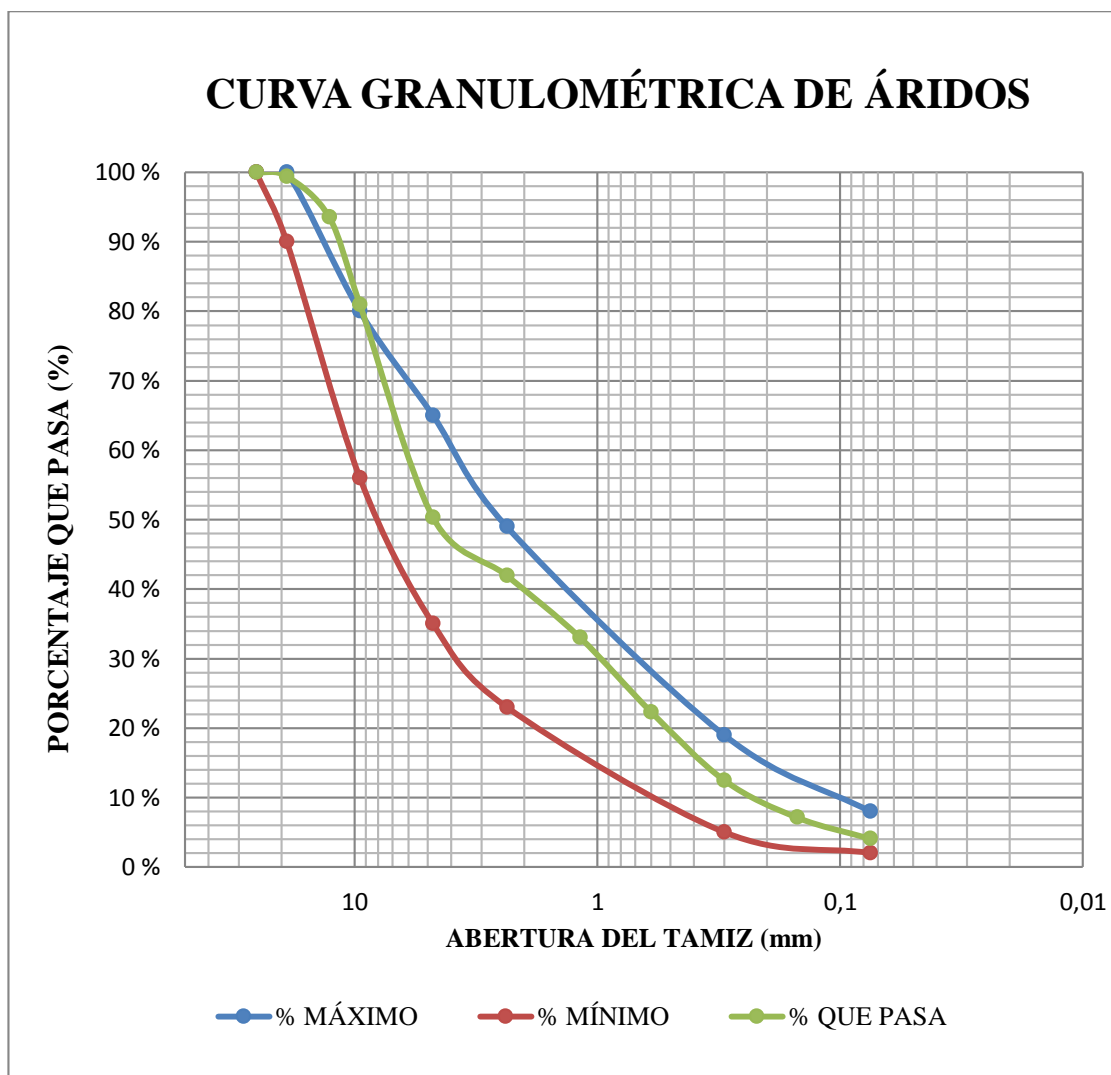
granulométrica. Este ensayo se realizó de acuerdo a lo descrito en la sección 811- 4.4 (NEVI – 12).

Tabla N° 8. Análisis Granulométrico de los Áridos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA INGENIERÍA CIVIL						
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS ÁRIDOS						
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato						
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita						
Fecha: Jueves, 14 de Julio 2016						
Norma: INEN 694						
Masa de la Muestra: 1140gr						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDOS		% RETENIDO ACUMALADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN 3/4" MOP (NEVI - 12)
		gr	%			
1"	25,4	0	0	0	100	100
3/4"	19	6,8	0,60	0,60	99,40	90 – 100
1/2"	12,7	67,12	5,89	6,48	93,52	---
3/8"	9,5	143,4	12,58	19,06	80,94	56 – 80
N° 4	4,75	349,44	30,65	49,72	50,28	35 – 65
N° 8	2,36	95,04	8,34	58,05	41,95	23 – 49
N° 16	1,18	101,4	8,89	66,95	33,05	---
N° 30	0,6	122,44	10,74	77,69	22,31	---
N° 50	0,3	112,04	9,83	87,52	12,48	5 – 19
N° 100	0,15	61,08	5,36	92,87	7,13	---
N° 200	0,075	34,72	3,05	95,92	4,08	2 – 8
PASA	0	46,52	4,08	100,00	0	-

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Grafico N° 7. Curva Granulométrica de los Áridos





Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Interpretación: La granulometría de los áridos de la empresa “JEAL constructora” de la ciudad de Ambato presenta una curva que cumple con los límites establecidos en la norma NEVI-12 cuyo tamaño nominal máximo (TNM) corresponde a 3/4” (19mm) estando dentro de los requisitos de graduación para agregados para mezclas asfálticas densas (Marshall).

b. Densidad Relativa de los Agregados.

Se puede definir a la densidad como la relación entre el peso y el volumen de la masa, en este caso, de la grava y de la arena con la aplicación de los métodos del picnómetro y de la canastilla respectivamente.



Tabla N° 9. Densidad Relativa del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>			
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO GRUESO			
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato			
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita			
Fecha: Martes, 19 de Julio del 2016			
Norma: INEN 857			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Canastilla + suelo SSS al aire	M1	3060,00	Gr
Masa de la canastilla al aire	m2	1245,00	Gr
Masa del agregado SSS	B	1812,00	Gr
Canastilla + suelo SSS en agua	m3	2219,00	Gr
Masa de la canastilla sumergida	m4	1114,00	Gr
Masa del agregado en agua (m3 - m4)	C	1105,00	Gr
Masa del agregado seco al horno	A	1746,00	Gr
Densidad relativa (gravedad específica) A / (B - C)	SH	2,47	gr/cm ³
Densidad relativa (gravedad específica) B / (B - C)	SSS	2,56	gr/cm³

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Nota: En los valores de la densidad de los áridos se obtiene resultados sin unidades sabiendo que la densidad es unidad de masa sobre unidad de volumen, entonces para que la densidad quede en sus unidades habituales se multiplica este valor por 1gr/cm³.

Tabla N° 10. Densidad Relativa del Agregado Fino



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERIA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFALTICO</i>			
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO			
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato			
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita			
Fecha: Miércoles, 20 de Julio 2016			
Norma: INEN 856			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa del frasco (picnómetro)	M1	162,00	Gr
Temperatura del agua y arena en °C	m2	20,00	°C
Recipiente + masa de arena seca al horno	m3	151,80	Gr
Recipiente	m4	106,00	Gr
Masa de arena seca al horno (m3 -m4)	A	45,80	Gr
Picnómetro + agua T °C	B	658,00	Gr
Picnómetro + arena SSS	m5	211,00	Gr
Masa de arena SSS + picnómetro + agua	C	685,00	Gr
Masa de agua añadida (C - m5)	m6	474,00	Gr
Factor de Corrección por T	K	0,9982	-
Masa de la arena SSS utilizada	S	50,00	Gr
Densidad relativa (gravedad específica) SH = A / (B + S- C)	SH	1,99	gr/cm3
Densidad relativa (gravedad específica) SSS = S / (B + S - C)	SSS	2,17	gr/cm3

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

c. Capacidad de Absorción de los Agregados

La capacidad de absorción de los agregados se mide cuando éstos pasan de un estado superficialmente saturado a un estado seco constante.

Tabla N° 11. Capacidad de absorción de los agregados


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS			
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato			
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita			
Fecha: Jueves, 21 de julio del 2016			
Norma: INEN 856 – 857			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	GRUESO	FINO
Masa del recipiente (gr)	M1	273,00	106,00
Masa del recipiente + agregado SSS (gr)	m2	2085,00	156,00
Masa del recipiente + agregado seco al horno (gr)	m3	2019,00	151,80
Masa del agregado SSS (gr)	B (m2 - m1)	1812,00	50,00
Masa del agregado seco al horno (gr)	A (m3 - m1)	1746,00	45,80
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) % Absorción = ((B - A)/(A))*100	%Abs	3,78	9,17

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

d. Determinación del valor de degradación de los agregados, mediante la Máquina de los ángeles

Los agregados deben resistir el desgaste irreversible y la degradación durante su fabricación, colocación y compactación de las obras de pavimentación, es decir, durante toda la vida de servicio del pavimento, por lo que es fundamental emplear éste método para determinar la resistencia al desgaste, empleando la máquina de Los Ángeles.

Tabla N° 12. Determinación del Valor de Degradación de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>			
DETERMINACIÓN DEL VALOR DE DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS			
Origen:	“JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato		
Realizado por:	Danilo Sebastián Vega Zurita		
Fecha:	Lunes, 25 de Julio del 2016		
Norma:	INEN 860 (TIPO A)		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa de agregado de 1" (25,4 mm)	m1	1251,0	Gr
Masa de agregado de 3/4" (19,0 mm)	m2	1250,0	Gr
Masa de agregado de 1/2" (12,7 mm)	m3	1252,0	Gr
Masa de agregado de 3/8" (9,50 mm)	m4	1250,0	Gr
Masa inicial de la muestra de ensayo (m1 + m2 + m3 + m4)	A	5003,0	Gr
Masa de la muestra retenida en el tamiz # 10 (1,70 mm), después de ensayo	B	3595,0	Gr
Valor de degradación, en porcentaje $D = ((A - B)/(A)) * 100$	D	28,14	%

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

e. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Con este ensayo se determina el porcentaje en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta caras fracturadas, con el propósito de incrementar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. También dar estabilidad a los agregados empleados para la carpeta asfáltica.

Tabla N° 13. Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>			
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS			
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato			
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita			
Fecha: Martes, 26 de Julio del 2016			
Norma: ASTM D 5821-95			
Peso de la Muestra: 2500gr			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Peso Fracturadas	F	1658,9	Gr
Peso Cuestionables	Q	834,1	Gr
Peso No Fracturadas	N	7	Gr
Porcentaje de Caras Fracturadas $P = ((F + Q/2) / (F + Q + N))$	P	83,04	%

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

4.1.2. CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, obtenido como residuo o producto residual del petróleo crudo, que se ablanda gradualmente al calentarse. Siendo utilizado principalmente en la pavimentación de las vías.

Existen varios tipos de cemento asfáltico, clasificados anteriormente por el grado de penetración basados en su dureza y consistencia, mediante ensayos de penetración. En la actualidad se los divide por su grado de viscosidad, es decir, de acuerdo a la consistencia presentada al exponerse a determinadas temperaturas.

Para la realización de los distintos ensayos procedimos a obtener el cemento asfáltico AC-20, el cuál presenta un menor grado de penetración y mayor consistencia, lo cual beneficia directamente en este caso, debido a que se está trabajando para vías de tránsito pesado.

El cemento asfáltico antes mencionado lo obtuvimos en “JEAL Construcciones”, empresa dedicada a la producción y tendido de asfalto, ubicada en la ciudad de Ambato.

Tabla N° 14. Características del Cemento Asfáltico

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC – 20					
PARÁMETRO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA
	(ASTM_INEN)	MIN	MAX		
Viscosidad Absoluta 140°F (60°C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	150	240	199,0	Pas
Viscosidad Cinemática 275°F (135°)	ASTM D2170_NTE INEN 810	300		332,0	mm/s
Penetración 77°F (25°C, 100Gr. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	60		73,0	dmm
Punto de Inflamación copa abierta cleveland	ASTM D92_NTE INEN 808	232		296,0	°C
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D2042_NTE INEN 915	99		99,9	%P
Residuo de ensayo de película fina en horno rotatorio	N/A	N/A			
Viscosidad 60°C	ASTM D2171_NTE INEN 810		800	639,0	Pas
Ductilidad 77°F (25°C) 5cm/min	ASTM D113_NTE INEN 916	50		60,0	cm
Gravedad API a 60°F (15,6°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	6,7	API
Gravedad específica 60/60°F (15,6°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	REPORTE	REPORTE	1,0239	
Gravedad específica 25/25°C	ASTM 70	REPORTE	REPORTE		
Punto de ablandamiento	ASTM D36			48,0	°C
Índice de penetración	ASTM D5	-1,5		-0,8	
Cambio de masa	ASTM D2872			-0,1	%P
API Observado: 14,595					
Temperatura Observada: 99,6°C					

Fuente: Informe de resultados - Petroecuador

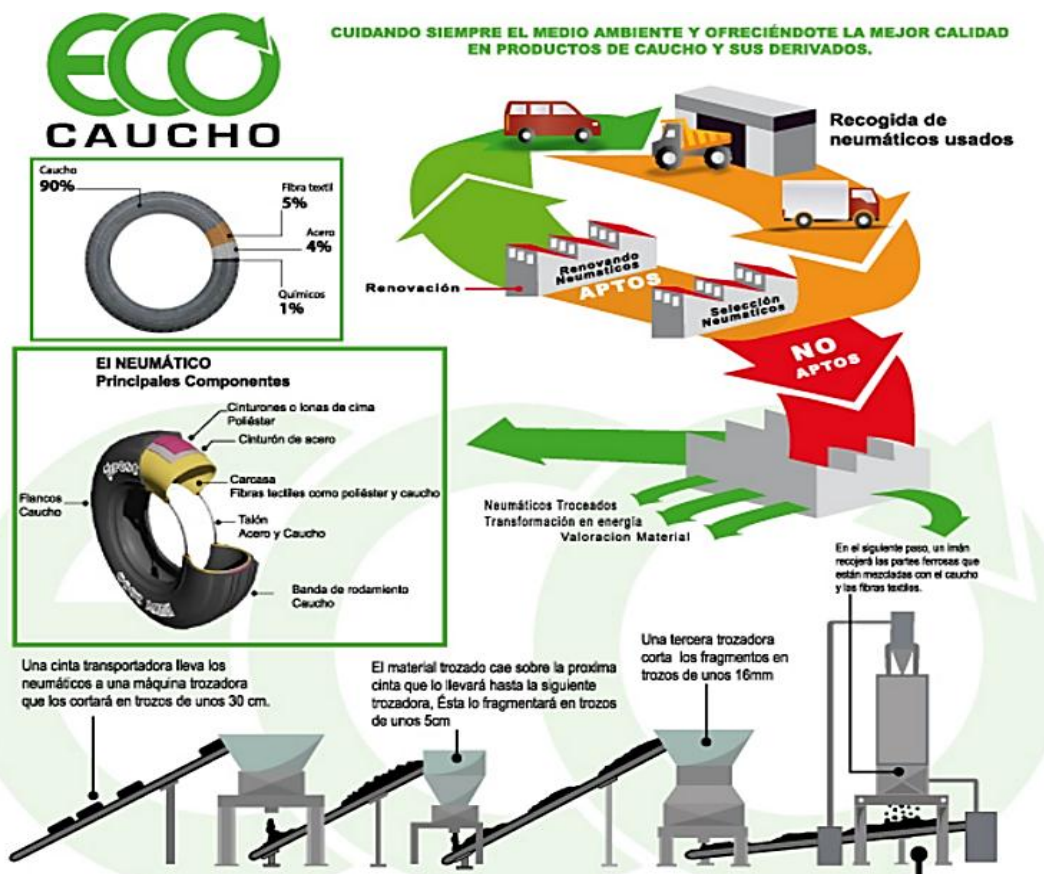
4.1.3. CAUCHO DE LLANTAS RECICLADAS

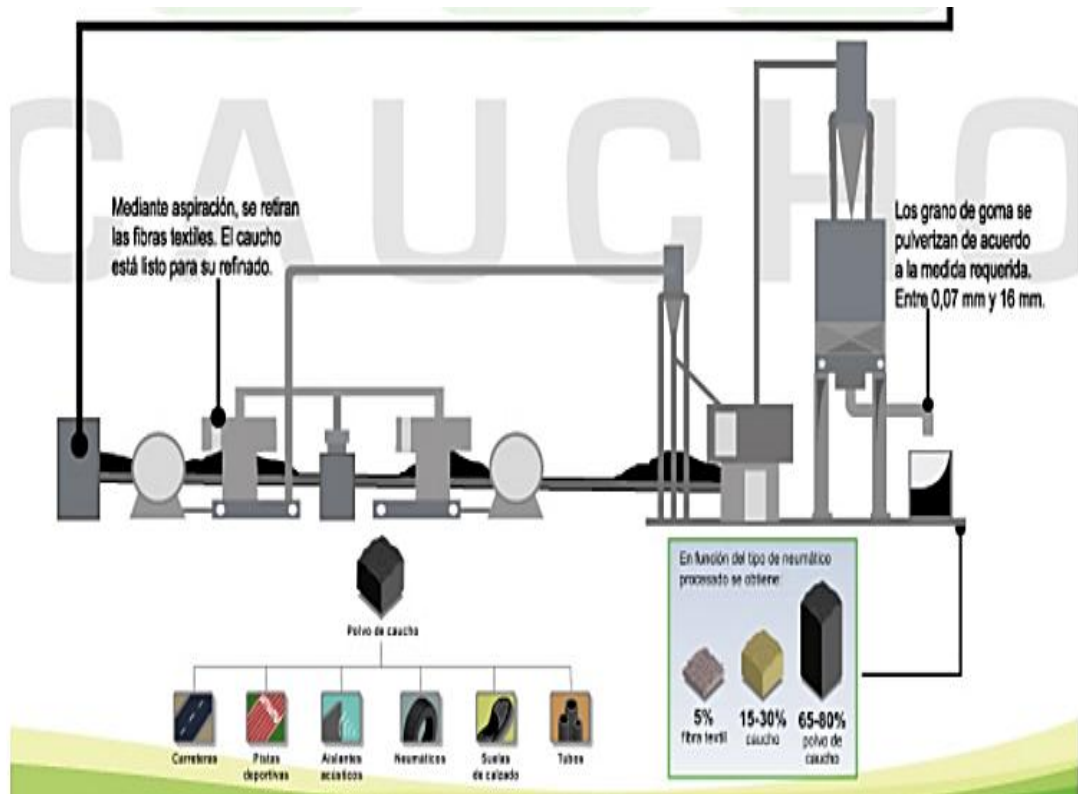
En el país existen varias empresas dedicadas al reciclaje de llantas usadas, con el propósito de contribuir al cuidado medioambiental. Debido a que en el presente trabajo se utiliza el caucho obtenido de las mismas, se puede considerar una ventaja para el mismo, porque no existió mayor complicación para la obtención del caucho ya triturado.

El caucho utilizado fue suministrado por la Industria recicladora del caucho ECOCAUCHO S.A, ubicada en el norte de la ciudad de Quito.

El proceso para la obtención del caucho triturado no es tan sencillo, puesto que se cumplen varias etapas para conseguirlo. Inicialmente se recogen las llantas usadas para clasificarlas, luego las consideradas como no aptas para ser renovadas pasan por cintas a máquinas trozadoras para cortarlas en distintos tamaños, después un imán separa las partes metálicas, seguido de la aspiración para retirar las fibras textiles y finalmente se pulveriza de acuerdo a las medidas que se requiera.

Grafico N° 8. Proceso de trituración del caucho





Fuente: ECOCAUCHO



La siguiente imagen muestra el producto final suministrado por la empresa mencionada:

Grafico N° 9. Caucho triturado



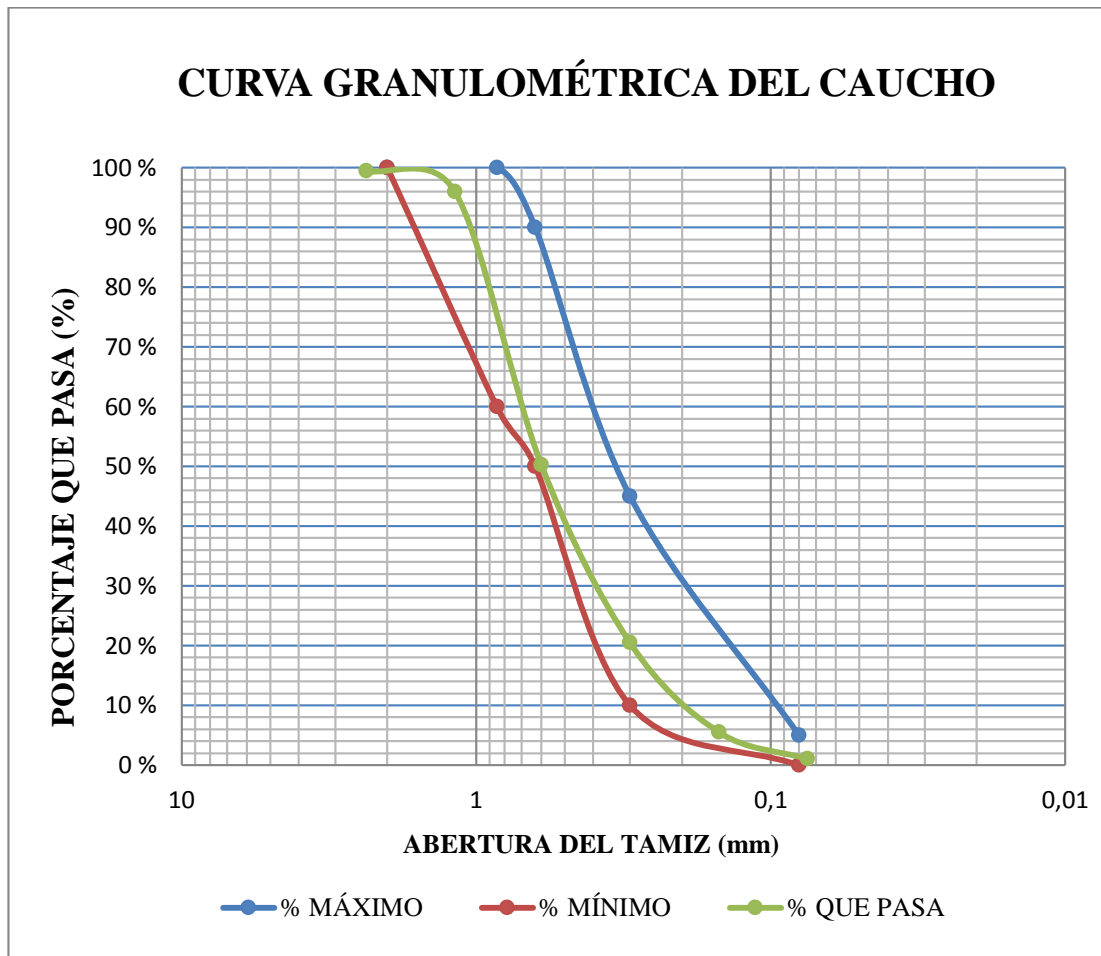
Luego de conseguir el caucho triturado de las llantas usadas, se procedió a realizar su respectiva granulometría.

Tabla N° 15. Granulometría del caucho

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 						
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CAUCHO						
Origen:	Industria Recicladora de Caucho Ecocaucho S.A					
Realizado por:	Danilo Sebastián Vega Zurita					
Fecha:	Lunes, 01 de Agosto del 2016					
Norma:	INEN 2680					
Peso de la Muestra:	1000gr					
Tamiz	Abertura (mm)	Retenidos		% RETENIDO ACUMALADO	% Que Pasa	Especificación
		gr	%			
N° 8	2,36	2,7	0,54	0,54	99,46	100
N° 10	2,0	17,4	3,48	4,02	95,98	100
N° 16	1,18	228,5	45,70	49,72	50,28	60 – 100
N° 30	0,6	148,8	29,76	79,48	20,52	50 – 90
N° 50	0,3	74,7	14,94	94,42	5,58	0 – 45
N° 100	0,15	22,6	4,52	98,94	1,06	-
N° 200	0,075	4,2	0,84	99,78	0,22	0 – 5
LLENANTE	0	1,1	0,22	100,00	0	-

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Grafico N° 10. Curva Granulométrica del Caucho



Interpretación: El caucho sometido al ensayo granulométrico, se encuentra dentro de los rangos establecidos teniendo como máximo al material que pasa por el tamiz #8 y como mínimo al que retiene el tamiz #200, según las especificaciones identificadas en el fundamento del presente trabajo.

4.1.4. DISEÑO MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

El método de diseño Marshall permite determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en una mezcla asfáltica caliente. Dicho porcentaje óptimo es obtenido basado en los resultados de estabilidad, flujo, peso específico Bulk, vacíos con aire, vacíos en agregados minerales y vacíos llenos de asfalto, conseguidos con este ensayo.

Elaboración de las briquetas

Las briquetas elaboradas tienen un peso de 1200 gr., pero cada una asume distinto porcentaje de cemento asfáltico, como se observa en la siguiente tabla, las mismas que fueron fabricadas en laboratorio de Control de Calidad de Suelos del GAD Municipal de Ambato.

Tabla N° 16. Dosificación de las mezclas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 							
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>							
DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS							
Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita							
Tamiz	Abertura (mm)	% Que Pasa	5% 60gr de CA	5,5% 66gr de CA	6% 72gr de CA	6,5% 78gr de CA	7,0% 84gr de CA
1"	25,4	100	0	0	0	0	0
3/4"	19	99,40	6,8	6,76	6,73	7,68	8,61
1/2"	12,7	93,52	67,12	66,77	67,40	67,04	67,66
3/8"	9,5	80,94	143,4	142,65	142,88	142,12	142,34
N° 4	4,75	50,28	349,44	347,60	343,78	340,97	338,17
N° 8	2,36	41,95	95,04	93,55	92,06	90,59	90,10
N° 16	1,18	33,05	101,4	99,87	99,34	96,85	97,31
N° 30	0,6	22,31	122,44	120,80	119,17	119,52	115,95
N° 50	0,3	12,48	112,04	110,46	109,87	108,30	106,74
N° 100	0,15	7,13	61,08	60,76	59,45	58,15	55,88
N° 200	0,075	4,08	34,72	34,54	33,37	32,20	31,05
LLENANTE	0	0	46,52	50,25	53,95	58,58	62
TOTAL (gr)			1140	1134	1128	1122	1116

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Es decir, existen 5 porcentajes distintos de cemento asfáltico, por lo que se realizaron 3 briquetas por cada uno para obtener mejores resultados, de acuerdo al método empleado.

Equipo utilizado

- Dispositivo para moldear probetas (Placa de base plana)
- Martillo de compactación con zapata circular (10lb)
- Pedestal de compactación (Pieza prismática de madera de base)
- Soporte para molde (Dispositivo con resorte para centrar rígidamente el molde)
- Moldes Marshall
- Prensa para el ensayo (Máquina Marshall)
- Balanza eléctrica $A\pm 0.01$ gr.
- Horno
- Bandejas metálicas
- Termómetros
- Espátulas
- Extractor de probetas
- Soplete
- Guantes de cuero
- Franelas
- Cucharón

Materiales

- Cemento asfáltico AC-20
- Grava y arena

PROCEDIMIENTO

1. Inicialmente se preparan los materiales, es decir, se pesan los mismos antes de introducirlos al horno a 105 o 110°C, para secarlos y luego volverlos a pesar hasta obtener un peso constante. Así, se consigue un peso real libre de humedad.

Grafico N° 11. Determinación del peso constante



2. Luego de determinar el peso de cada material, se procede a pesar la arena, grava, llenante (filler) y cemento asfáltico, para obtener la cantidad necesaria para la fabricación de las briquetas con los distintos porcentajes de cemento asfáltico de los grupos identificados, en este caso se empezó desde el 5%.

Grafico N° 12. Determinación del peso



3. Posteriormente se colocan los agregados en una bandeja y se mezclan hasta obtener una mezcla uniforme, seguidamente la calentamos con el soplete hasta que ésta llegue a una temperatura entre 175 y 190°C, medidos con el termómetro. A la vez en el horno se va preparando el cemento asfáltico hasta obtener una temperatura mayor de 140°C, finalmente se vierte el cemento

asfáltico sobre los agregados obteniendo el peso fijado, para combinarlos hasta conseguir una mezcla homogénea.

Grafico N° 13. Preparación de los materiales





4. Se vierten las mezclas asfálticas calientes en moldes pre-calentados Marshall y engrasados con parafina, para proceder a la compactación realizada con el martillo Marshall de compactación. En este caso, se compactaron con 75 golpes por cada cara de la briqueta, es decir, 150 golpes, debido a que las mezclas son para tráfico pesado.

Grafico N° 14. Fabricación de las briquetas



5. Finalmente dejamos enfriar el molde que contiene la briqueta a temperatura ambiente. Al siguiente día se procedió a extraer las briquetas mediante un gato hidráulico.

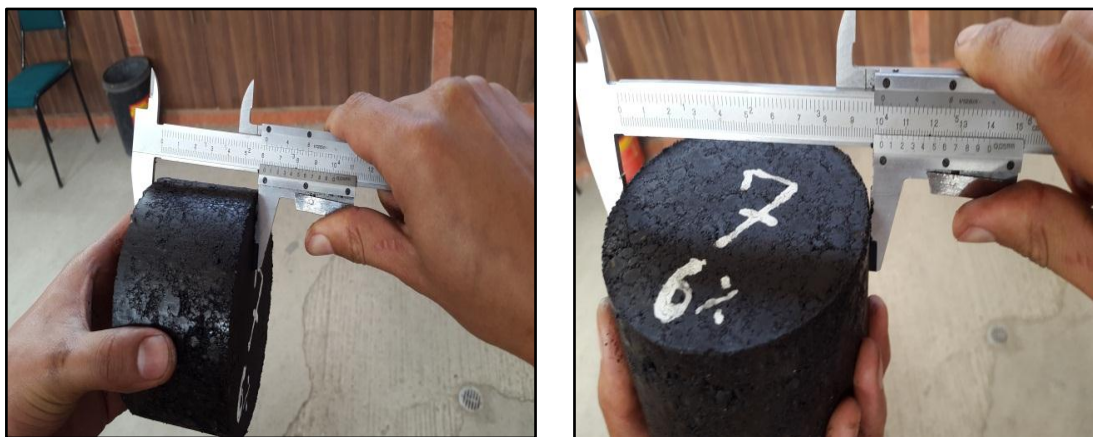
Grafico N° 15. Extracción de las briquetas



PROCESO DEL ENSAYO

Una vez que tenemos las briquetas, las medimos con un calibrador. Se medirá la altura en tres puntos diferentes para realizar un promedio, el diámetro será el proporcionado por el molde de 101,6mm.

Grafico N° 16. Toma de medidas de la briqueta



Determinación de los pesos específicos bulk de las briquetas

Éstas se determinan pesando las briquetas al aire, luego sumergidas y también superficialmente saturadas.

Grafico N° 17. Pesos al aire, sumergido y superficialmente saturado



Determinación de la estabilidad y flujo

Inicialmente colocamos las briquetas a baño maría por un periodo de 30 minutos a una temperatura de 60°C.

Grafico N° 18. Baño maría



A continuación se limpian las superficies internas de las mordazas y se lubrican con una película delgada de aceite de tal manera que se deslice suavemente sin que se pegue. Previamente antes de la aplicación de la carga se verifica que el dial de carga se encuentre encerado.

Colocamos la briqueta en las mordazas y con el equipo compactador, aplicamos la carga sobre la briqueta a una velocidad constante de 50.8mm por minuto hasta que se

produzca la falla. El punto de falla se produce cuando alcanza la carga máxima a compresión lateral en la máquina de ensayo Marshall. Se registran los valores de carga en libras y el del flujo en centésimas de pulgadas.

Gráfico N° 19. Ensayo Marshall de Estabilidad y Flujo



Determinación de la densidad máximo teórico

Para obtener el valor de densidad máximo teórico debemos realizar el ensayo de Rice.

Con este ensayo podemos determinar la gravedad y densidad máximo teórico de mezclas en caliente no compactadas a temperatura de 25°C.

Equipo y material

- Recipiente de vacío
- Balanza eléctrica A±0.01 gr.
- Bomba de vacío
- Manómetro de presión residual
- Dispositivo para agitación mecánica
- Muestra de ensayo



Procedimiento

Para realizar el ensayo debemos enfriar las muestras con diferentes porcentajes de cemento asfáltico a temperatura ambiente. La muestra se colocará directamente al

recipiente de vacíos, se pesa y se anota este valor, se agrega agua aproximadamente a 25°C hasta cubrir la muestra completamente.

Removemos para liberar el aire atrapado en la muestra, seguido tapamos y colocamos en el dispositivo para agitación aplicando incrementos progresivos de vacíos hasta que la presión residual del manómetro indique $3,7 \pm 0,3\text{kpa}$ (30mm Hg), durante un periodo de 15min. Durante este periodo a través del dispositivo de agitación mantenemos la agitación, inmediatamente después de la eliminación del aire atrapado, procedemos a llenar el recipiente de vacío con agua hasta llenarlo y la pesamos.

Tabla N° 17. Determinación de Rice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 						
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>						
DETERMINACIÓN DE RICE Gmm						
Origen: “JEAL Construcciones”, ciudad de Ambato Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita Fecha: Lunes, 22 de Agosto del 2016 Norma: ASTM D 2041 Lugar: Laboratorio de Control de Calidad de Suelos del GAD Municipal de Ambato.						
% de Cemento Asfáltico	Peso frasco + agua a 25°C en gr(D)	Peso de frasco (gr)	Peso muestra + frasco (gr)	Peso muestra gr(A)	Peso muestra + frasco + agua 25° gr(E)	RICE Gmm = A/A-(E-D)
5%	7406,5	2903,2	3999,9	1096,7	8032,9	2,332
5,5%	7406,5	2903,2	4022,6	1119,4	8045,1	2,328
6%	7406,5	2903,2	3927,7	1024,5	7989,6	2,321
6,5%	7406,5	2903,2	4046,6	1143,4	8056,7	2,318
7%	7406,5	2903,2	3936,0	1032,8	7992,4	2,311

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Grafico N° 20. Ensayo Rice



Peso específico promedio de los agregados

$$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Dónde:

G = Gravedad específica promedio

P1, P2,..Pn = Porcentaje en peso de la fracción 1,2,..., n

G1, G2,...Gn = Valores de gravedad específica por fracción 1,2,...,n

Calculo:

$$G = \frac{100}{\frac{49,72}{2,56} + \frac{50,28}{2,17}} = 2,351 \text{ Gravedad específica de la mezcla del agregado}$$

Tabla N° 18. Diseño de mezcla asfáltica

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita
Gravedad específico de los agregados: 2,351

Procedencia de los agregados: “JEAL Construcciones”
Gravedad específico del cemento asfáltico: 1,0239 N° de Golpes: 75

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I - H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \times 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} \times 100$				
1.1	5%	7,0	1208,8	1210,4	663,4	2,210										6483	0,856		6,87
1.2		6,36	1061,9	1064,3	581,9	2,201										5141			6,84
1.3		7,12	1186,3	1189,2	642,3	2,169										6108	0,836		12,62
PROMEDIO						2,193	2,208	2,332	2,537	85,017	5,942	9,041	14,983	2,590	60,342	6295,5	0,846	5325,993	9,73
2.1	5.5%	6,35	1075,4	1076,8	593,8	2,227										5764	1,00		10,22
2.2		6,37	1106,2	1107,7	610,7	2,226										5985	0,995		10,88
2.3		6,44	1112,4	1114,1	611,6	2,214										6279	0,978		8,83
PROMEDIO						2,222	2,195	2,328	2,749	86,124	4,553	9,323	13,876	2,388	67,185	6009,33	0,991	5955,25	9,98
3.1	6%	6,36	1037,2	1039,4	578,8	2,252										6441	0,998		6,13
3.2		6,35	1008,7	1010,3	553,5	2,208										4445			4,75
3.3		7,21	1136,1	1138,4	624,7	2,212										5959	0,823		13,61
PROMEDIO						2,224	2,181	2,321	2,903	86,197	4,184	9,619	13,803	2,242	69,685	6200	0,9105	5645,10	5,44
4.1	6.5%	6,35	1052,6	1053,0	579,8	2,224										3693			7,79
4.2		6,55	1146,5	1147,8	634,2	2,232										5757	0,953		10,26
4.3		6,62	1146,8	1147,7	631,2	2,220										4796	0,939		8,69
PROMEDIO						2,226	2,168	2,318	3,135	86,267	3,983	9,751	13,733	2,022	70,999	5276,5	0,946	4991,57	9,48
5.1	7%	6,55	1132,7	1133,2	610,3	2,166										4883	0,953		7,76
5.2		6,44	1155,4	1156,6	621,4	2,159										5135	0,978		11,78
5.3		6,56	1221,7	1221,2	602,6	2,356										5006	0,951		12,24
PROMEDIO						2,227	2,155	2,311	3,287	86,315	3,638	10,047	13,685	1,877	73,416	5008,0	0,96	4811,02	10,59

Gráfico N° 21. Curva de Peso Específico Bulk vs Porcentaje de Asfalto

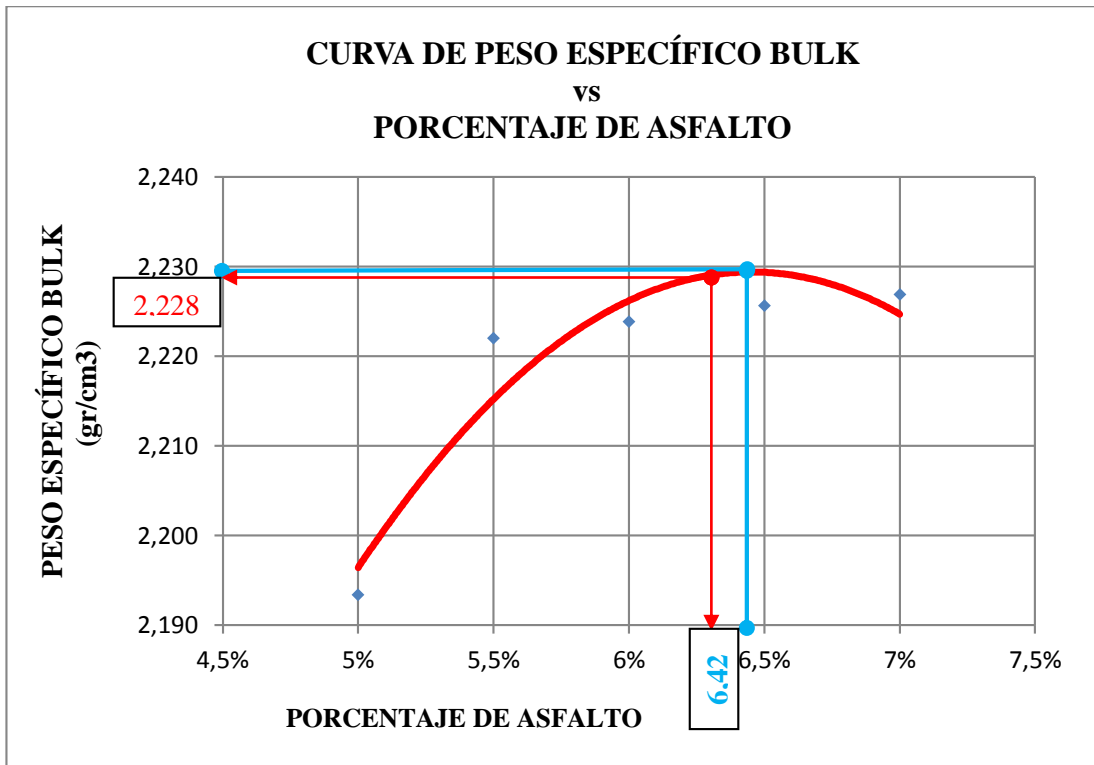


Gráfico N° 22. Curva de Vacíos con Aire vs Porcentaje de Asfalto

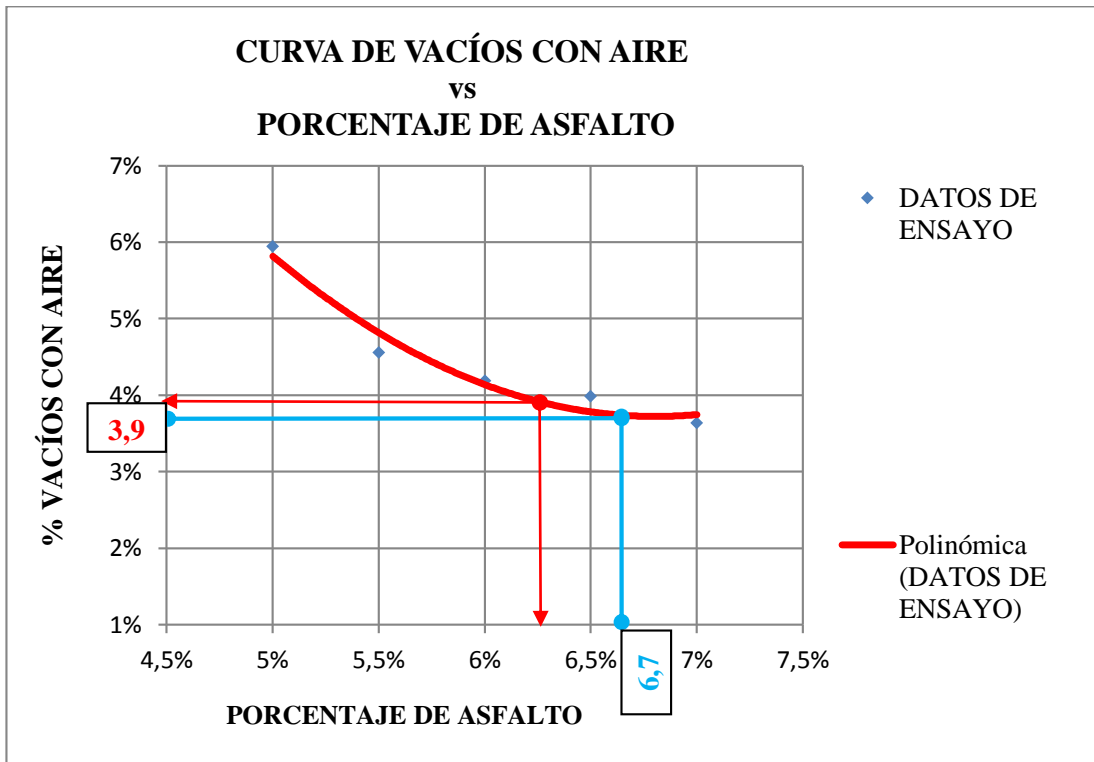


Gráfico N° 23. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto

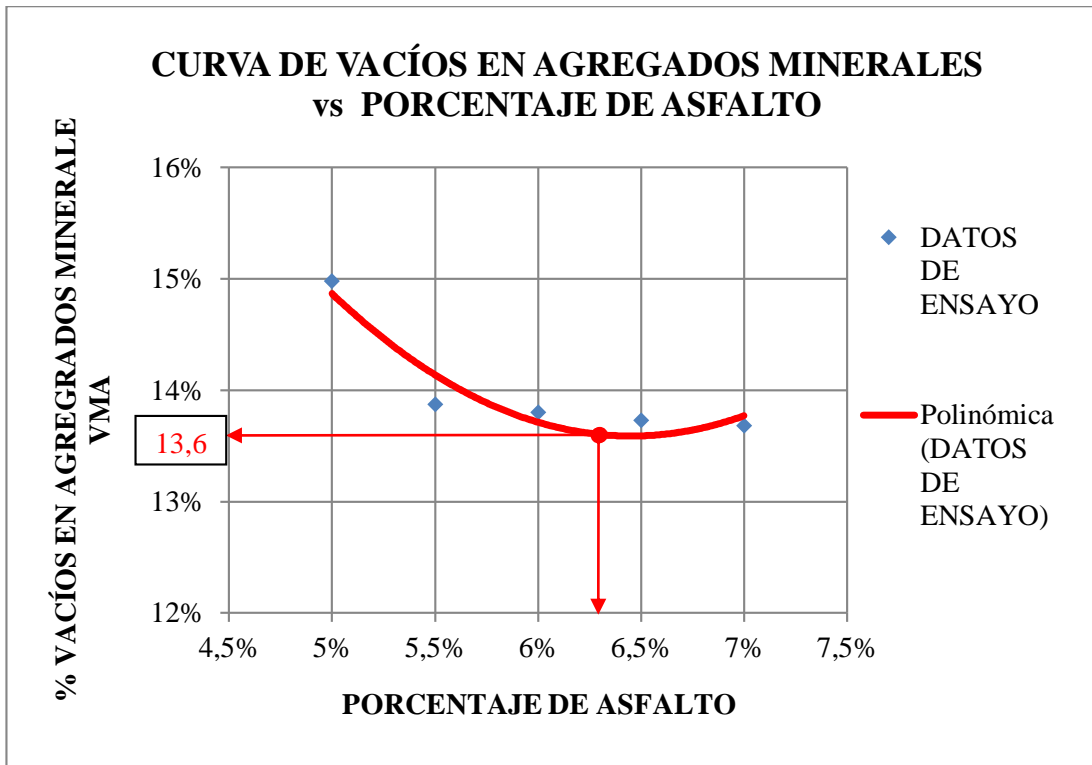


Gráfico N° 24. Curva de Vacíos en Agregado Minerales vs Porcentaje de Asfalto

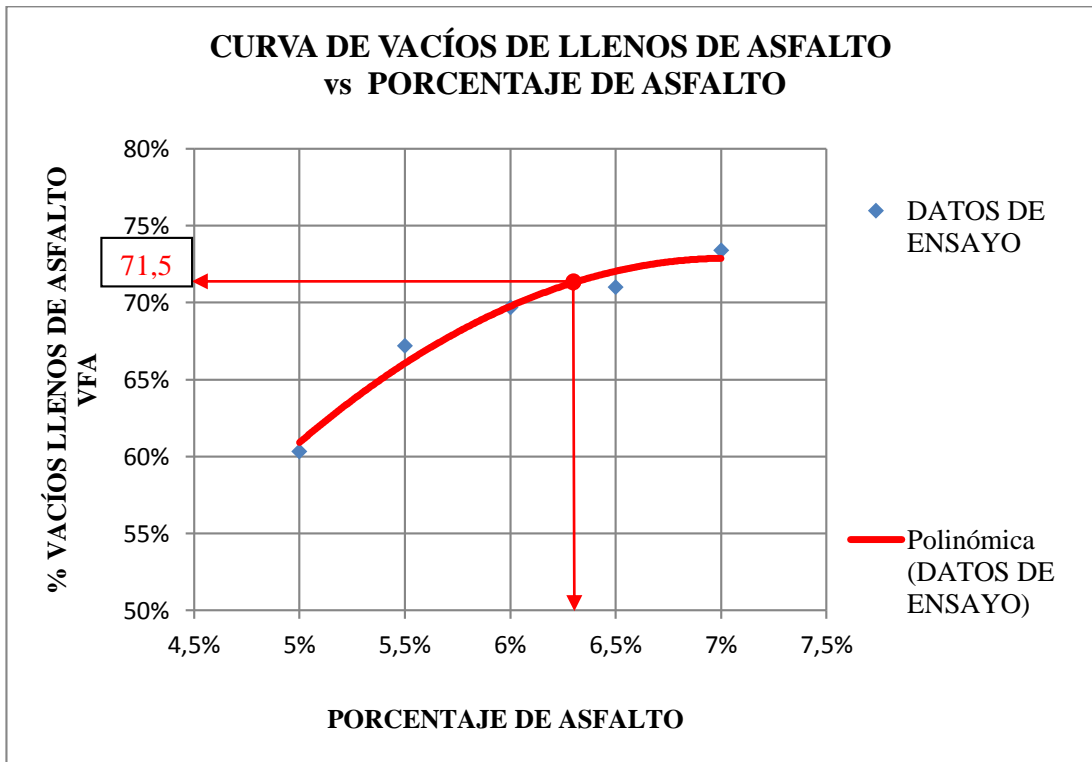


Gráfico N° 25. Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto

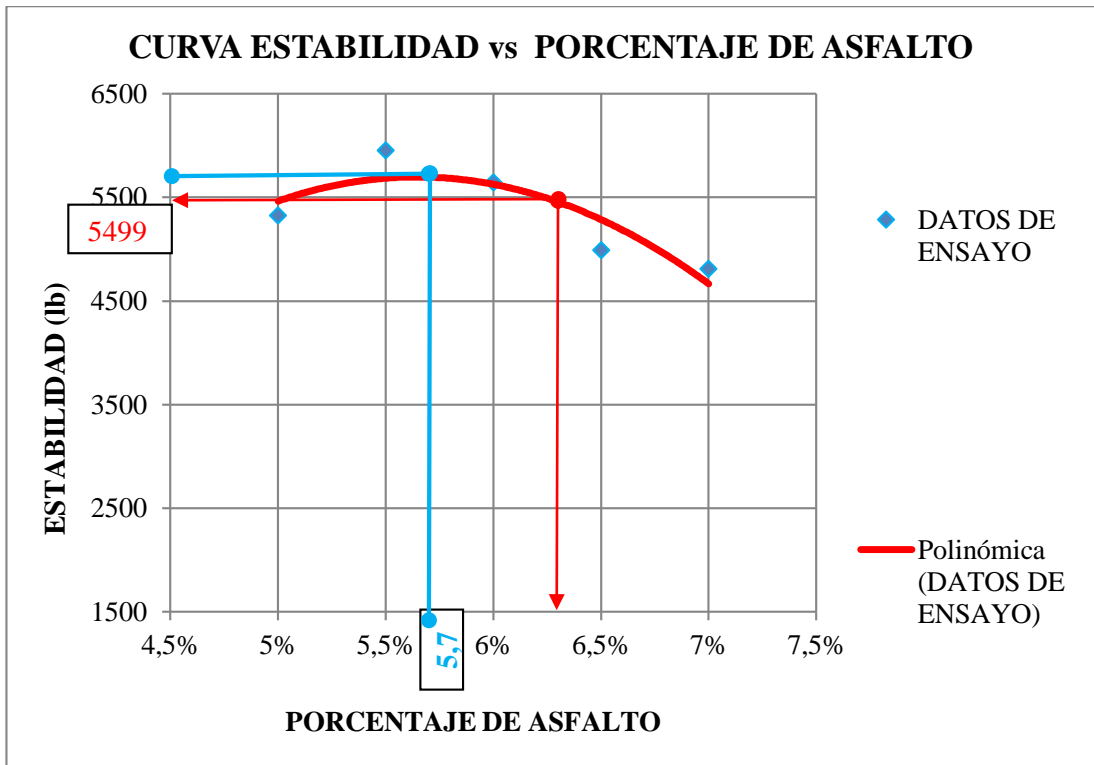
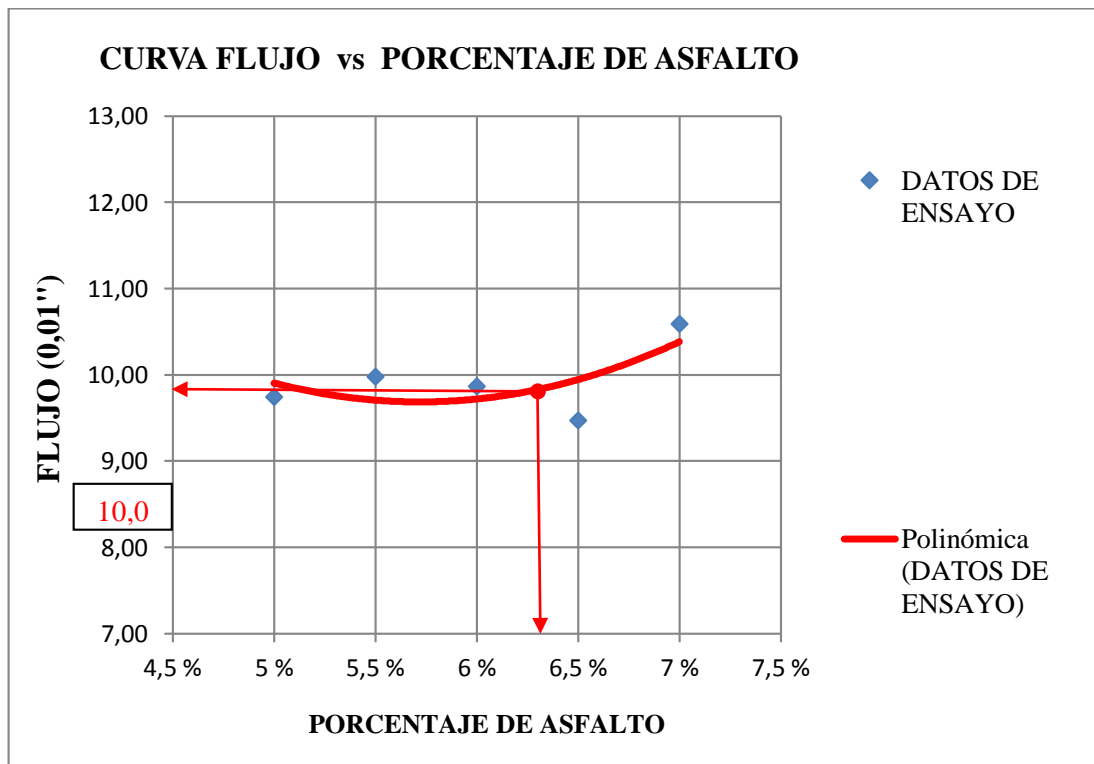


Gráfico N° 26. Curva de Flujo vs Porcentaje de Asfalto



La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se realiza tomando en cuenta tres de las curvas representadas en los **gráficos 21, 22, y 25** a partir de estas se obtiene la máxima Estabilidad, la máxima Densidad y 4% del índice de vacíos.

El promedio de los tres porcentajes de asfalto equivale a su porcentaje óptimo, siempre y cuando las propiedades Marshall satisfagan las especificaciones.

Para esta mezcla, se obtuvo que el máximo por Densidad se encuentre con 6,42% de cemento asfáltico y el máximo por Estabilidad con 5,7%. Con relación al índice de vacíos, el mínimo que se obtuvo con los distintos porcentajes de cemento asfáltico, es de 6,7%.

El porcentaje óptimo de asfalto para esta mezcla es un 6,3, es decir, la Estabilidad y el índice de vacíos se encuentran dentro de las especificaciones del método utilizado.

Tabla N° 19. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto

COMPROBACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO DE 6,3%	
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
ESTABILIDAD: 5499lb	2200lb Min
FLUJO: 10 (1/100")	8 - 14 (1/100")
% VACÍOS CON AIRE: 3,9%	3 - 5%
% VACÍOS CON AGREGADO MINERAL: 13,6%	13% Min (4% VMA)
% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO: 71,5%	65 - 75%

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

4.1.5. DISEÑO DE LA MEZCLA CON CAUCHO

Elaboración de la mezcla mediante proceso por vía seca

Mediante este proceso podremos observar y estudiar el efecto del caucho al adicionarlo como una pequeña parte sustituta del agregado fino en la elaboración de las mezclas asfálticas. La tecnología escogida para ser aplicada en esta investigación es la convencional, desarrollada en España, en la cual se adicionan porcentajes de hasta el 2% del peso total de los agregados.



En este proyecto el porcentaje de caucho escogido para ser adicionado es del 1,2 y 3% con respecto al peso del agregado.

La granulometría del caucho con la que se va a trabajar es la establecida en la Tabla 14. Se decidió trabajar con el tamaño del tamiz N° 50 (0,30mm), debido a que las partículas de este tamaño de polvo de caucho es el más homogéneo.

Elaboración de las briquetas con el caucho

Las briquetas elaboradas tienen un peso de 1200 gr., las cuales tienen distintos porcentajes de cemento asfáltico, y, en este caso también tienen como agregado al polvo de caucho, siendo una parte suplente del agregado fino, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla N° 20. Dosificación de la mezcla con caucho

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA INGENIERÍA CIVIL							
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFALTICO</i>							
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON CAUCHO							
Realizado por : Danilo Sebastián Vega Zurita							
Tamiz	Abertura (mm)	% Que Pasa	5%	5,5%	6%	6,5%	7,0%
			60gr de CA	66gr de CA	72gr de CA	78gr de CA	84gr de CA
1"	25,4	100	0	0	0	0	0
3/4"	19	99,40	6,8	6,76	6,73	7,68	8,61
1/2"	12,7	93,52	67,12	66,77	67,40	67,04	67,66
3/8"	9,5	80,94	143,4	142,65	142,88	142,12	142,34
N° 4	4,75	50,28	349,44	347,60	343,78	340,97	338,17
N° 8	2,36	41,95	93,411	91,92	90,43	88,96	88,47
N° 16	1,18	33,05	99,771	98,24	97,71	95,22	95,68
N° 30	0,6	22,31	120,811	119,17	117,54	117,89	114,32
N° 50	0,3	12,48	110,411	108,83	108,24	106,67	105,12
N° 100	0,15	7,13	59,451	59,13	57,82	56,52	54,25
N° 200	0,075	4,08	33,091	32,91	31,74	30,57	29,42
LLENANTE	0	0	44,891	48,63	52,32	56,95	61
Total de masa de agregados (gr)			1128,6	1122,6	1116,6	1110,6	1104,6
1% de Caucho en remplazo parcial del agregado Fino			11,40	11,34	11,28	11,22	11,16
2% de Caucho en remplazo parcial del agregado Fino			22,80	22,68	22,56	22,44	22,32
3% de Caucho en remplazo parcial del agregado Fino			34,20	34,02	33,84	33,66	33,48
TOTAL (gr)			1140	1134	1128	1122	1116

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Procedimiento

El procedimiento utilizado para la fabricación de estas briquetas no difiere significativamente al efectuado con las briquetas normales, excepto la variación en el tiempo y temperatura de digestión requerido por este tipo de mezcla asfáltica.

1. Preparación de la granulometría de los agregados basados en los distintos porcentajes de cemento asfáltico.

Grafico N° 27. Componentes de la briqueta



2. Colocamos los agregados en la bandeja para calentarlos con el soplete hasta que alcancen una temperatura entre 170 y 210°C.

Grafico N° 28. Medición de la temperatura



3. Incorporación del caucho según lo determinado anteriormente, el cual está relacionado con el peso de los agregados.

Grafico N° 29. Incorporación del caucho



4. Mezclamos los agregados calientes con el caucho, y mantenemos la temperatura entre 150 y 190°C por un tiempo de 2 min para que el caucho incremente su temperatura.

Grafico N° 30. Incremento de temperatura del caucho



5. Adicionamos el cemento asfáltico, previamente calentado, mezclamos todos los elementos hasta tener una mezcla homogénea.

Grafico N° 31. Preparación de la mezcla modificada



6. Colocamos la mezcla asfáltica en el horno durante 1h a una temperatura de 170°C para q se produzca la digestión del caucho, dicho tiempo y temperatura se aplicó según lo investigado.

Grafico N° 32. Periodo de digestión



7. Retiramos la mezcla del horno y lo removemos, colocamos la muestra en los moldes Marshall precalentados. Compactamos a una temperatura de 140°C más baja que la digestión, con 75 golpes por ambos lados.

Grafico N° 33. Elaboración de las briquetas





8. Dejamos reposar por un periodo de 24h antes de extraer las briquetas.

Grafico N° 34. Briquetas con caucho fuera de uso con el 1,2 y 3% (CFU)



Determinación de la densidad máximo teórico (RICE)

Tabla N° 21. Determinación de Rice con caucho

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL 						
<i>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE ASFALTO CONFORMADO POR CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS COMO MATERIAL CONSTITUTIVO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO</i>						
DETERMINACIÓN DE RICE Gmm CON CAUCHO						
Origen:		Industria Recicladora de Caucho Ecocaucho S.A				
Realizado por:		Danilo Sebastián Vega Zurita				
Fecha:		Lunes, 29 de Agosto del 2016				
Norma:		ASTM D 2041				
Lugar:		Laboratorio de Control de Calidad de Suelos del GAD Municipal de Ambato.				
% de Cemento Asfáltico	Peso frasco + agua a 25°C en gr(D)	Peso de frasco (gr)	Peso muestra + frasco (gr)	Peso muestra gr(A)	Peso muestra + frasco + agua 25° gr(E)	RICE Gmm = A/A-(E-D)
5%	7406,5	2903,2	3965,5	1062,3	8005,8	2,294
5,5%	7406,5	2903,2	3926,7	1023,5	7984,4	2,297
6%	7406,5	2903,2	4021,5	1118,3	8028,8	2,255
6,5%	7406,5	2903,2	4035,6	1132,4	8036,1	2,252
7%	7406,5	2903,2	4002,3	1099,1	8017,0	2,249
2% CFU						
5%	7969,5	2904,1	3902,2	998,1	7969,6	2,294
5,5%	7406,5	2903,8	3911,6	1007,8	7972,9	2,283
6%	7406,5	2903,7	4021,5	1117,8	8024,9	2,238
6,5%	7406,5	2903,7	3941,4	1037,7	7977,0	2,221
7%	7406,5	2903,8	3940,8	1037,0	7973,5	2,206
3% CFU						
5%	7406,5	2903,1	3912,2	1009,1	7968,8	2,259
5,5%	7406,5	2903,8	3930,6	1026,8	7972,3	2,227
6%	7406,5	2903,8	3927,6	1023,8	7969,9	2,224
6,5%	7406,5	2903,7	3941,4	1037,7	7977,2	2,222
7%	7406,5	2903,8	3941,8	1038,0	7973,0	2,201

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

Tabla N° 22. Diseño de mezcla asfáltica con el 1% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita
Gravedad específico de los agregados: 2,351

Procedencia de los agregados: “JEAL Construcciones”
Gravedad específico del cemento asfáltico: 1,0239 **N° de Golpes:** 75

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I - H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \times 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} \times 100$				
1.1	5%	6,35	1074,4	1075,1	578,1	2,162										4973	1,00		6,44
1.2		6,38	1041,2	1041,8	555,6	2,142										4422	0,99		5,88
1.3		6,52	1096,2	1096,5	577,2	2,111										3897	0,958		6,53
PROMEDIO						2,138	2,208	2,294	1,789	86,396	6,798	6,807	13,604	3,300	50,034	4430,67	0,984	4358,30	6,28
2.1	5.5%	6,45	1079,1	1079,8	579,6	2,157										5227	0,975		6,1
2.2		6,35	1030,8	1031	548,8	2,138										4095	1,00		6,78
2.3		6,63	1099,6	1100	582,2	2,124										4644	0,938		7,85
PROMEDIO						2,140	2,195	2,297	2,151	86,000	6,855	7,145	14,000	3,468	51,036	4655,33	0,97	4520,33	6,91
3.1	6%	6,43	1120	1121,3	610,2	2,191										5492	0,98		8,16
3.2		6,35	1010,4	1012,2	542,6	2,152										4195	1,00		7,86
3.3		6,35	946,9	948,3	498,8	2,107										2590			4,47
PROMEDIO						2,150	2,181	2,255	1,593	85,957	4,663	9,380	14,043	4,503	66,793	4843,5	0,99	4795,07	8,01
4.1	6.5%	6,72	1177,8	1179,9	637,8	2,173										5384	0,918		13,27
4.2		6,37	1089	1090,8	585,2	2,154										4250	0,995		6,67
4.3		6,35	927,1	928,9	494,4	2,134										2943			4,62
PROMEDIO						2,153	2,168	2,252	1,833	85,642	4,378	9,980	14,358	4,786	69,511	4817	0,957	4607,46	9,97
5.1	7%	6,65	1171,8	1172,9	631,1	2,163										5059	0,934		10,78
5.2		6,43	1101,9	1103,4	594,3	2,164										5068	0,98		10,22
5.3		6,35	1038,2	1039,9	553,5	2,134										5082	1,00		10,82
PROMEDIO						2,154	2,155	2,249	2,075	85,203	4,229	10,568	14,797	5,070	71,419	5069,7	0,971	4924,34	10,61

Tabla N° 23. Diseño de mezcla asfáltica con el 2% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita
Gravedad específico de los agregados: 2,351

Procedencia de los agregados: “JEAL Construcciones”
Gravedad específico del cemento asfáltico: 1,0239 **N° de Golpes:** 75

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \times 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{I \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$				
1.1	5%	6,37	1063,0	1064,1	565,2	2,131										2500	0,995		10,61
1.2		6,35	1003,3	1004,6	542,4	2,171										2591	1,00		6,02
1.3		6,37	1074,3	1074,6	589,4	2,214										3595			7,22
PROMEDIO						2,172	2,208	2,294	1,789	87,761	5,325	6,914	12,239	3,300	56,493	2545,50	0,998	2539,14	8,32
2.1	5.5%	6,38	1083,7	1085,5	584,5	2,163										2912	0,993		10,52
2.2		6,35	1013,2	1014,0	556,3	2,214										3311	0,99		9,11
2.3		6,39	1087,5	1087,8	603,2	2,244										4006			9,9
PROMEDIO						2,207	2,195	2,283	1,868	88,710	3,331	7,959	11,290	3,735	70,497	3111,50	0,99	3085,05	9,82
3.1	6%	6,34	996,0	998,5	551,8	2,230										2219	1,003		15,83
3.2		6,35	1014,3	1018,5	557,1	2,198										1912	1,00		6,73
3.3		6,35	1039,9	1040,9	580,5	2,259										2024	1,00		18,66
PROMEDIO						2,229	2,181	2,238	1,234	89,118	0,407	10,475	10,882	4,840	96,261	2065,5	1,001	2067,57	11,28
4.1	6.5%	6,34	1037,3	1039,5	584,1	2,278										2513			9,03
4.2		6,85	1123,1	1123,8	579,6	2,064										3310	0,886		18,5
4.3		6,39	1113,2	1113,1	627,2	2,291										3469	0,990		16,95
PROMEDIO						2,211	2,168	2,221	1,170	87,926	0,457	11,617	12,074	5,406	96,215	3389,5	0,938	3179,35	17,73
5.1	7%	6,36	1034,9	1035,8	570,1	2,222										2372	0,998		15,19
5.2		6,39	1127,9	1128,9	623,1	2,230										2777	0,990		17,08
5.3		6,61	1207,5	1208,9	651,3	2,166										3152	0,94		17,14
PROMEDIO						2,206	2,155	2,206	1,143	87,260	0,004	12,735	12,740	5,937	99,966	2767,0	0,976	2701,51	16,47

Tabla N° 24. Diseño de mezcla asfáltica con el 3% de caucho

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

Realizado por: Danilo Sebastián Vega Zurita
Gravedad específico de los agregados: 2,351

Procedencia de los agregados: “JEAL Construcciones”
Gravedad específico del cemento asfáltico: 1,0239 **N° de Golpes:** 75

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \times 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$				
1.1	5%	6,78	1187,4	1189,2	646,9	2,190										3079			18,45
1.2		6,35	1084,9	1087,0	586,4	2,167										2268	1,00		13,22
1.3		6,67	1105,8	1108,3	582,6	2,103										1915	0,930		23,03
PROMEDIO						2,153	2,208	2,259	1,078	87,016	4,674	8,310	12,984	3,976	64,002	2091,50	0,965	2018,30	18,13
2.1	5.5%	6,44	1091,6	1093,2	582,4	2,137										2606	0,978		17,06
2.2		6,48	1093,9	1095,0	588,5	2,160										2870	0,968		17,13
2.3		6,63	1097,9	1101,4	564,4	2,045										1705			15,24
PROMEDIO						2,114	2,195	2,227	0,702	84,964	5,085	9,951	15,036	4,836	66,181	2738,00	0,97	2664,07	17,10
3.1	6%	6,34	1012,5	1013,5	551,6	2,192										2146	1,003		11,16
3.2		6,37	1027,3	1027,4	557,8	2,188										1855	0,995		14,2
3.3		6,35	1019,2	1021,0	546,6	2,148										1857	1,00		12,45
PROMEDIO						2,176	2,181	2,224	0,935	87,003	2,158	10,839	12,997	5,121	83,398	2000,5	0,999	1999,17	12,68
4.1	6.5%	6,38	1044,8	1045,7	566,5	2,180										2367	0,993		14,36
4.2		6,39	1069,2	1071,4	575,2	2,155										2136	0,990		15,48
4.3		6,74	1122,3	1125,8	590,9	2,098										2245	0,91		22,9
PROMEDIO						2,144	2,168	2,222	1,192	85,284	3,492	11,224	14,716	5,386	76,271	2251,5	0,965	2173,45	14,92
5.1	7%	6,37	1116,9	1117,7	614,2	2,218										2823	0,995		18,07
5.2		6,56	1090,7	1093,0	582,4	2,136										2158			18,41
5.3		6,52	1148,2	1149,7	630,7	2,212										3332	0,96		14,07
PROMEDIO						2,189	2,155	2,201	1,033	86,588	0,549	12,863	13,412	6,040	95,903	3077,5	0,977	3005,18	16,07

Gráfico N° 35. Curvas de estabilidad vs porcentaje óptimo de asfalto

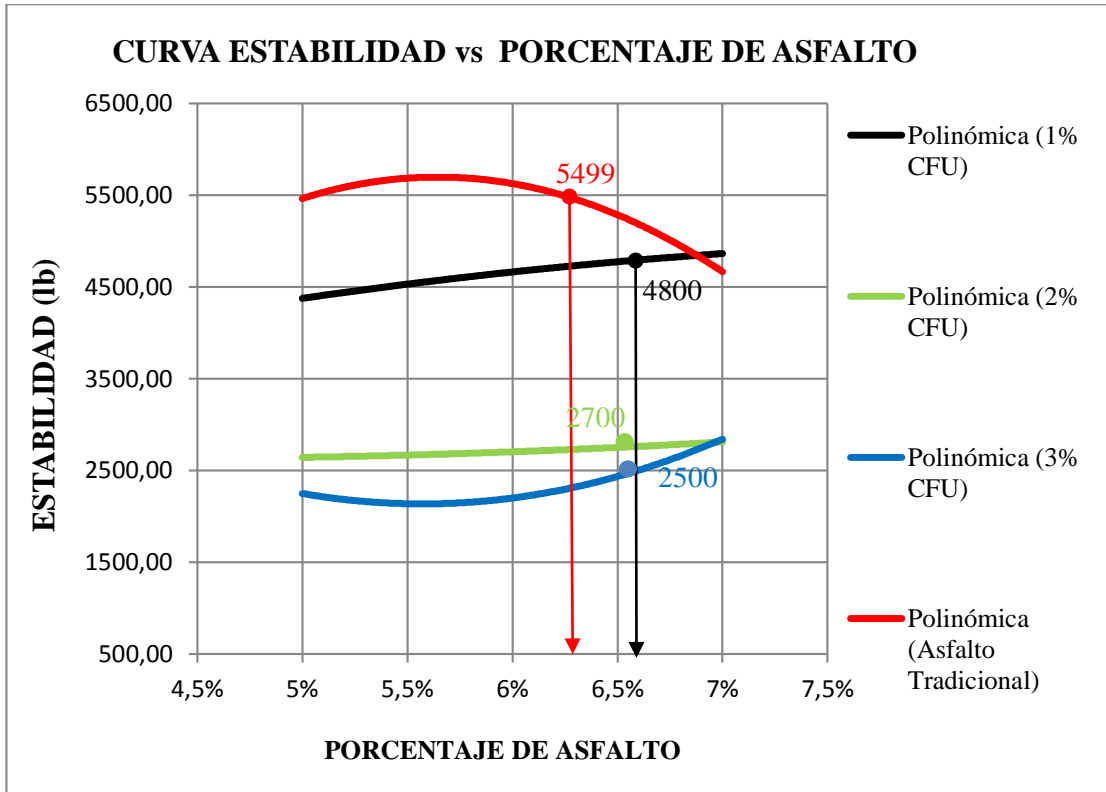


Gráfico N° 36. Curvas de flujo vs porcentaje óptimo de asfalto

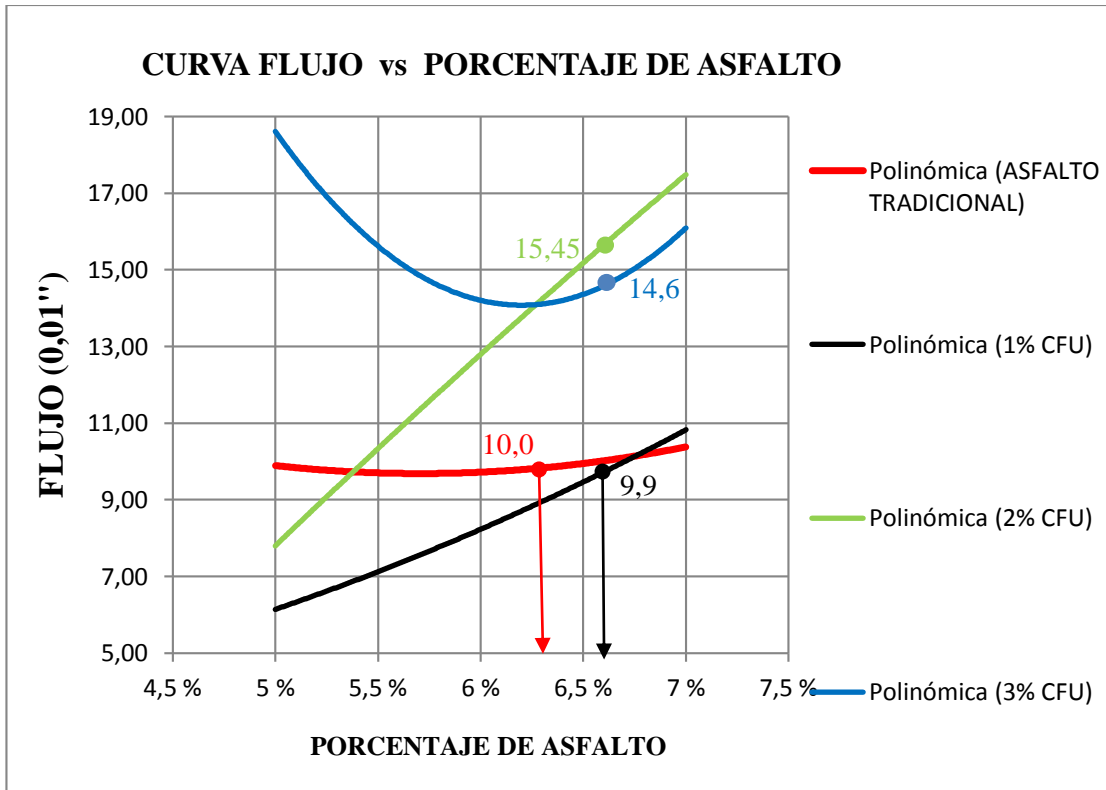


Gráfico N° 37. Curvas de peso específico Bulk vs porcentaje óptimo de asfalto

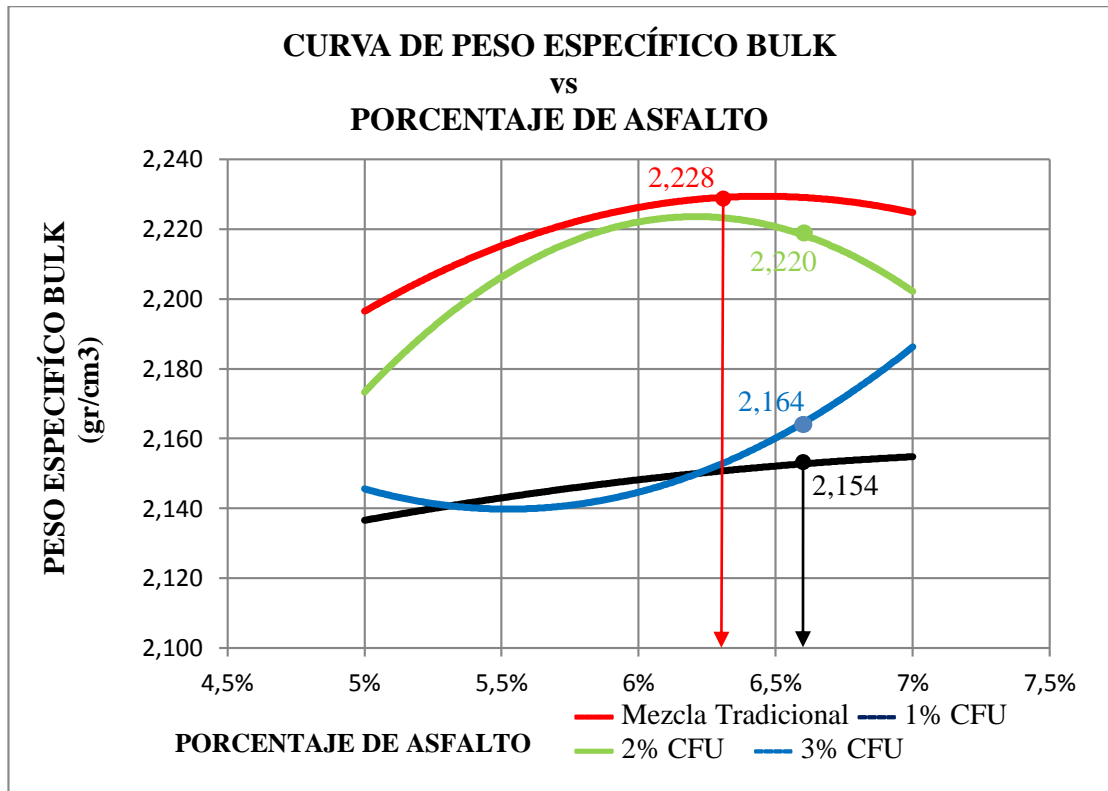


Gráfico N° 38. Curvas de vacíos con aire vs porcentaje óptimo de asfalto

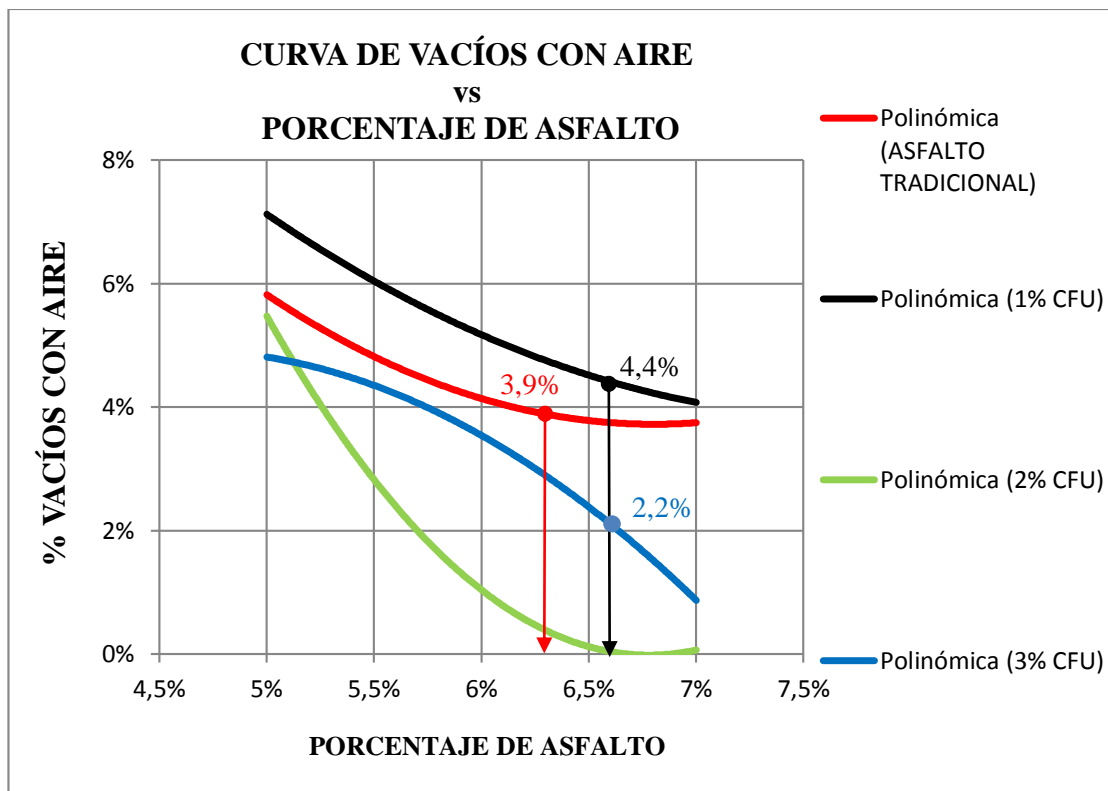


Gráfico N° 39. Curvas de vacíos con aire vs porcentaje óptimo de asfalto

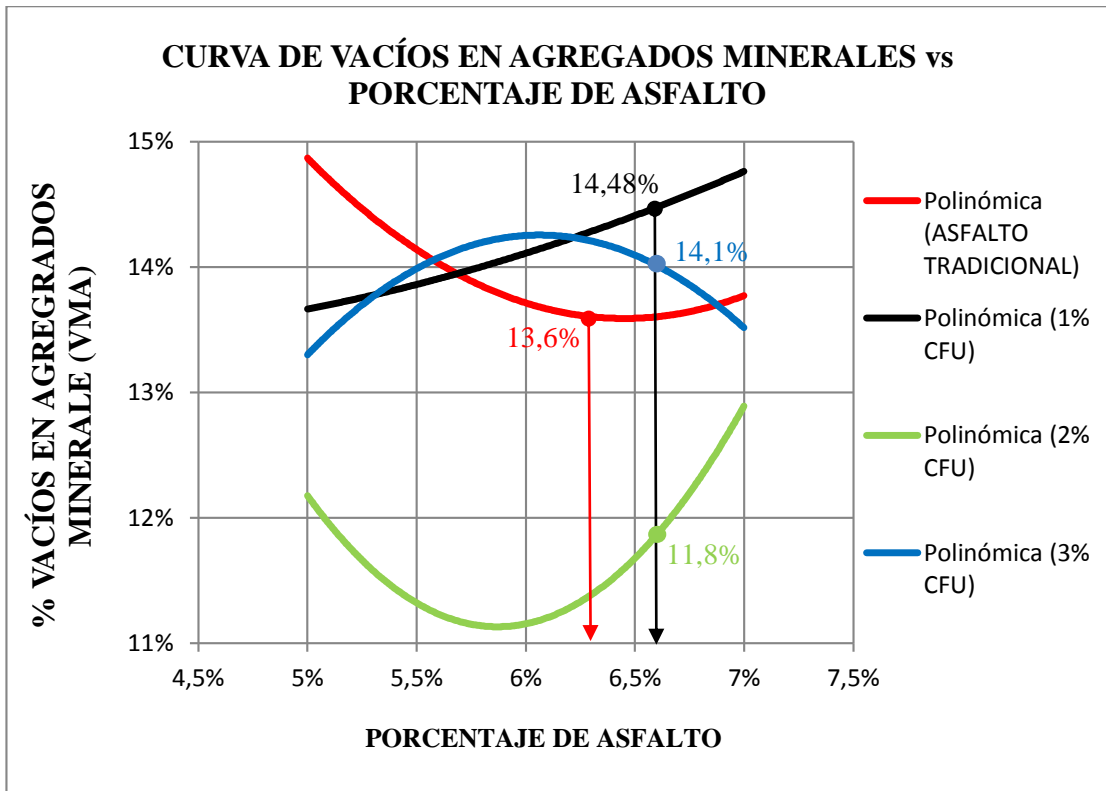
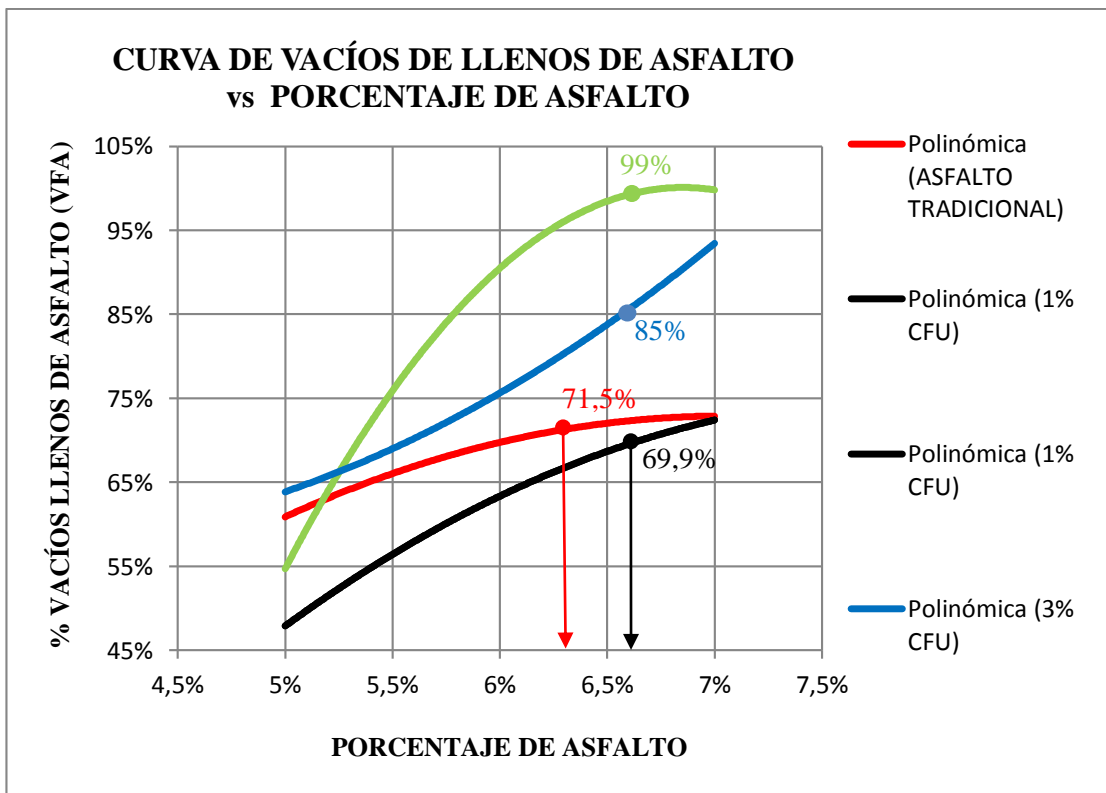


Gráfico N° 40. Curva de vacíos llenos de asfalto vs porcentaje óptimo de asfalto



Se determinó un 6,6% óptimo de asfalto para esta mezcla modificada, es decir, la Estabilidad y el índice de vacíos se encuentran dentro de las especificaciones del método utilizado.

Tabla N° 25. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto con caucho

COMPROBACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO DE 6,6%	
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
ESTABILIDAD: 4800lb	2200lb Min
FLUJO: 10 (1/100")	8 - 14 (1/100")
% VACÍOS CON AIRE: 4,4%	3 - 5%
% VACÍOS CON AGREGADO MINERAL: 14,48%	13% Min (4% VMA)
% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO: 69,9%	65 - 75%

Fuente: Danilo Sebastián Vega Zurita

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al analizar los resultados obtenidos con el ensayo de compresión lateral en la máquina Marshall, podemos identificar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas con AC-20 normal y AC-20 modificado. Se procede a hacer un análisis comparativo de los resultados, el mismo que es necesario para determinar las hipótesis del estudio.

Para el entendimiento del análisis se realizaron tablas y gráficas en las que muestran las diferencias entre las dos mezclas. Para que el análisis de resultados sea confiable se fabricaron la misma cantidad de briquetas Marshall con mezcla AC-20 normal y modificada, las mismas que fueron ensayadas sin realizar cambios significativos en su fabricación.

4.2.1 Resultados de ensayo Marshall

Los resultados de este ensayo están representados por gráficos, los cuales nos permiten comprender las características individuales de cada una de las mezclas asfálticas usadas en esta investigación. Mediante el cálculo, análisis e interpretación

de las gráficas se pudo determinar las características de las distintas mezclas asfálticas normales y modificadas.

En la Tabla **18, 22,23 y 24** se muestran los resultados obtenidos con el ensayo Marshall, las cuales están representadas por las siguientes graficas: Densidad o Peso específico bulk; Porcentaje de vacíos de aire; Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VAM); Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA); Estabilidad y Flujo. Los valores son conectados mediante una línea de tendencia para formar curvas.

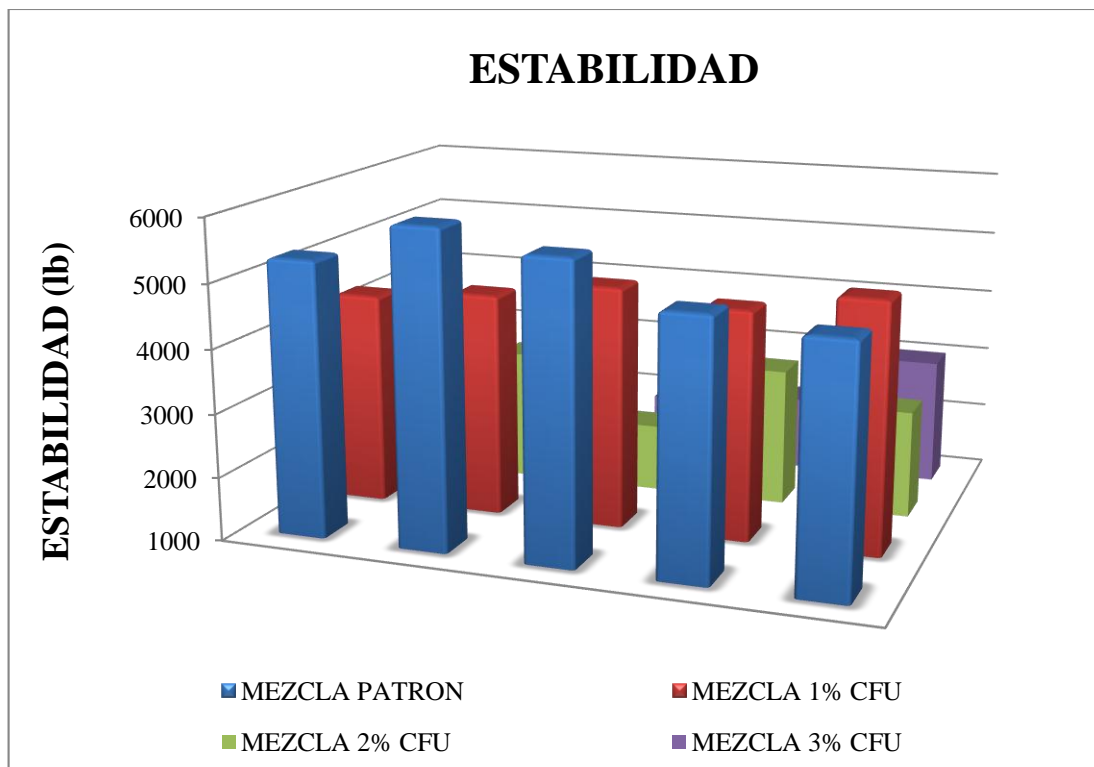
Mediante las gráficas podemos observar las tendencias entre la relación del contenido de asfalto y las propiedades de las mezclas. A continuación se describirá la tendencia que se puede observar en las gráficas de la mezcla patrón y la modificada.

- En la curva de la densidad o peso específico Bulk se observa que en la mezcla patrón esta aumenta hasta un cierto porcentaje de asfalto y luego tiende a disminuir. Esto no ocurre en las mezclas modificada que son ligeramente menores que disminuyen entre más porcentaje de caucho se incorpore.
- El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla patrón y modificada tiende a disminuir a medida que aumenta el porcentaje de asfalto. En la muestra modificada los vacíos de aire tienden a descender a medida que aumenta el porcentaje de asfalto y disminuye la cantidad del caucho.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), en la mezcla patrón disminuye hasta un valor mínimo al incrementar el porcentaje de asfalto, mientras que en las mezclas modificadas difiere con cada porcentaje de caucho, aumenta o disminuye con el incremento progresivo del porcentaje de asfalto.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) en la muestra patrón y modificada aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de asfalto.
- Los valores de estabilidad en la muestra patrón tienden a aumentar hasta una determinada cantidad de asfalto y presentando un declive cuando el porcentaje de asfalto es mayor. Esto no ocurre en las mezclas modificadas que tiende incrementar con cada aumento de porcentaje de asfalto y disminución de caucho.

- Los valores de flujo en la muestra patrón tienden a subir levemente y casi constantes con cada incremento de contenido de asfalto, lo contrario sucede con las mezclas modificadas que inicia con valores bajos e incrementa con cada aumento de porcentaje de asfalto.

Es fundamental realizar un análisis comparativo de la Estabilidad y el Flujo, como principales características de este método.

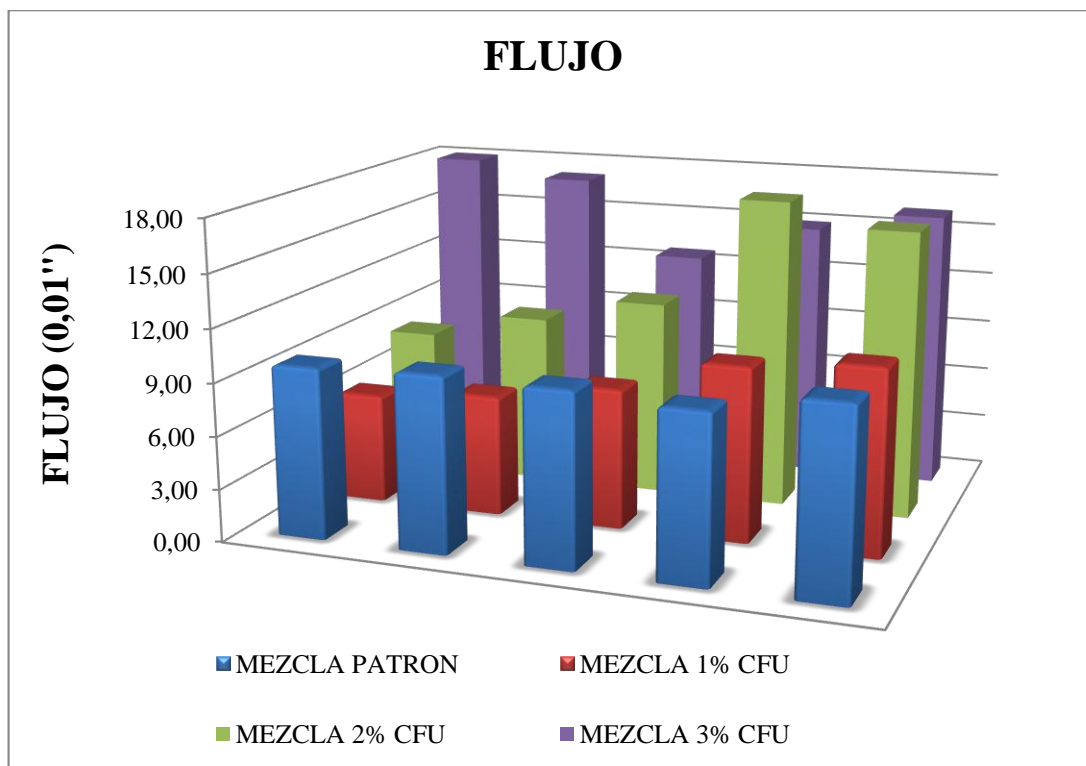
Gráfico N° 41. Comparación de la Estabilidad



Como se puede observar, la mezcla patrón con los distintos porcentajes de cemento asfáltico tiene valores más elevados que las mezclas modificadas, excepto en la mezcla con el 1% CFU y con el 7% de cemento asfáltico donde la mezcla modificada tiene una mayor estabilidad. Las mezclas modificadas con caucho tienen una tendencia creciente con cada aumento de la cantidad de asfalto y disminución del caucho, lo que no ocurre con la mezcla patrón que comienza a decrecer con mayor porcentaje de asfalto.

Los valores de estabilidad de las mezclas cumplen y superan las especificaciones, podemos decir que con un porcentaje menor de caucho e incrementando el tiempo de digestión se obtendrán mejores resultados en la mezcla modificada.

Gráfico N° 42. Comparación del Flujo



Podemos observar que las mezclas modificadas con los distintos porcentajes de caucho reciclado tienen una tendencia creciente con cada aumento de caucho y algunas están fuera del intervalo establecido. Es decir, la mezcla patrón y la modificada con el 1% CFU cumple las especificaciones de la norma.

Tabla N° 26. Resumen de resultados

RESUMEN DE RESULTADOS			
CRITERIO DE MEZCLA	MEZCLA		DIFERENCIA %
	Patrón	Modificada 1% CFU	
Número de golpes en cada cara de la briqueta	75	75	0
Estabilidad en libras	5499	4800	12,71
Flujo en centésimas de pulgada	10	10	0,00
Porcentaje de vacíos	3,9	4,4	11,36
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	13,6	14,48	6,08
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	71,5	69,9	2,24

4.2.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Uno de los aspectos importantes para determinar en la relación costo beneficio de una obra es la adecuada planificación del presupuesto, primeramente del tipo de obra que va a realizarse y en segunda instancia la utilización del equipo y maquinaria a emplearse. Otra también importante para la ejecución de estos trabajos es la participación del esfuerzo humano, la misma que debe ser capacitada para cumplir satisfactoriamente en cada una de las áreas de trabajo que comprende un proyecto.

Calculo de la masa de caucho para 1m³ de asfalto.

Gravedad específica de la mezcla de agregados = 2351 kg/m³

Volumen de los agregados para un metro cúbico = 0,47m³

$$M = D * V$$

M = masa

D = densidad o gravedad específica de los agregados

V = volumen de los agregados

$$M = 2351\text{kg/m}^3 * 0,0\text{m}^3 = 940,4\text{kg}$$

1% de Caucho en remplazo parcial del agregado Fino = 9,40 kg

Tabla N° 27. Análisis de precios unitarios de asfalto normal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Elaborado por: Danilo Sebastián Vega Zurita

Fecha: 12/10/16

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 1 DE 2
UNIDAD M3

DETALLE: Hormigón asfáltico mesc. En planta en caliente normal

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C*R
Herramientas manuales (5% MO)					0,05
Planta asfáltica (Inc. Generador, tanques, etc.)	1,00	120,00	120,00	0,0500	6,00
Cargadora frontal	1,00	35,00	35,00	0,0500	1,75
Volqueta 12m3	0,25	28,14	7,04	0,0500	0,35
SUBTOTAL M					8,15
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C*R
Op. Responsable planta asfáltica (Est.Ocup. C2)	1,00	3,48	3,48	0,0500	0,17
Op. Cargadora frontal (Est. Ocup.C)	1,00	3,66	3,66	0,0500	0,18
Peon (Est. Ocup. E2)	3,00	3,26	9,78	0,0500	0,49
Chof. Volquetas(Est. Ocup. C1)	0,25	4,79	1,20	0,0500	0,06
SUBTOTAL N					0,91
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D = A*B	
Grava triturado 3/4" y 3/8"	m3	0,520	12,00	6,24	
Arena triturada	m3	0,400	12,00	4,80	
Asfalto AC-20	kg	150,00	0,32	48,00	
Diesel	gl	12,98	1,62	21,02	
SUBTOTAL O					80,06
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D = A*B
SUBTOTAL P					
Total costo directo (M+N+O+P)					89,12
Indirectos y Utilidades %				18,00%	16,04
Costo total					105,16

Tabla N° 28. Análisis de precios unitarios de asfalto modificado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Elaborado por: Danilo Sebastián Vega Zurita

Fecha: 12/10/16

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA 2 DE 2
UNIDAD M3

DETALLE: Hormigón asfáltico mesc. En planta en caliente modificado

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C*R
Herramientas manuales (5% MO)					0,05
Planta asfáltica (Inc. Generador, tanques, etc.)	1,00	120,00	120,00	0,0500	6,00
Cargadora frontal	1,00	35,00	35,00	0,0500	1,75
Volqueta 12m3	0,25	28,14	7,04	0,0500	0,35
SUBTOTAL M					8,15
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C*R
Op. Responsable planta asfáltica (Est.Ocup. C2)	1,00	3,48	3,48	0,0500	0,17
Op. Cargadora frontal (Est. Ocup.C)	1,00	3,66	3,66	0,0500	0,18
Peon (Est. Ocup. E2)	3,00	3,26	9,78	0,0500	0,49
Chof. Volquetas(Est. Ocup. C1)	0,25	4,79	1,20	0,0500	0,06
SUBTOTAL N					0,91
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D = A*B	
Grava triturado 3/4" y 3/8"	m3	0,520	12,00	6,24	
Arena triturada	m3	0,465	12,00	5,58	
Asfalto AC-20	kg	150,00	0,32	48,00	
Caucho triturado	kg	9,40	0,3	2,82	
Diesel	gl	12,65	1,62	20,49	
SUBTOTAL O					83,14
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D = A*B
SUBTOTAL P					
Total costo directo (M+N+O+P)					92,19
Indirectos y Utilidades %				18,00%	16,59
Costo total del rubro					108,79

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados permite comprobar la hipótesis establecida. Es decir, el asfalto con caucho reciclado como agregado en reemplazo parcial de los agregados permitió mantener su resistencia a la compresión y en otros casos con distinta dosificación también existió una mejoría.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La incorporación del polvo de caucho de llantas recicladas en las mezclas asfálticas, reduce significativamente la contaminación ambiental que éstas originan debido a su largo plazo de degradación o a sus distintos métodos de desecho y eliminación.
- El fabricar pavimentos ecológicos relaciona beneficio- costo, el reutilizar las llantas usadas contribuye significativamente al cuidado medioambiental, puesto que existen millones de éstas que no son destinadas correctamente. Este es el primordial beneficio, aunque para obtenerlo es necesario incrementar ligeramente recursos económicos.
- La mezcla asfáltica tradicional presentó un costo de \$ 105,16, el 1m³ en planta, mientras el costo de la mezcla modificada con caucho fue de \$ 108,79, es decir se incrementó, debido a la incorporación del polvo de caucho, considerándose talvés como una desventaja por su costo.
- Se comprobó que no es necesario trabajar con granulometrías especiales en las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho de llantas recicladas.
- Al añadir el polvo de caucho reciclado a la mezcla asfáltica, la Estabilidad Marshall disminuye y a la vez el Flujo y contenidos de vacíos y ligante aumenta.
- El peso específico bulk de las mezclas asfálticas modificadas con caucho son levemente inferiores a las del asfalto patrón. Esto está asociado con mayores volúmenes de vacíos en el asfalto modificado y mayor permeabilidad en las mezclas modificadas.

- La Estabilidad evidenció valores superiores en la mezcla con el 1% que con las otras dos mezclas del 2 y 3% respectivamente, con lo cual podemos evidenciar que al aumentar la cantidad de caucho, la estabilidad disminuye.
- La estabilidad de la mezcla patrón es ligeramente superior con 5499lb a la de la modificada con el 1% de caucho que fue de 4800lb, sin embargo se debe tener presente que una mezcla con estabilidad muy alta tiende a ser muy rígida o frágil, sin embargo las dos cumplen la estabilidad Marshall para un asfalto de tráfico pesado.
- Observamos que con el 6,6% de cemento asfáltico, las mezclas con el 1% de caucho, cumple con estabilidad, flujo y vacíos con aire exigido para una carpeta de rodadura, y las mezclas del 2 y 3% de caucho no cumplen ninguno de estos parámetros.
- La granulometría escogida para la adición del polvo de caucho reciclado se incorporó fácilmente a la mezcla, obteniendo una mezcla homogénea y trabajable.
- La utilización de este método (por vía seca) en planta no implicaría la utilización de máquinas o equipamientos especiales ya que solo se necesitaría incorporar el caucho cuando los áridos estén calientes.
- La fabricación de las mezclas tradicionales y de las modificadas no presentan mayor diferencia, excepto en el tiempo y la temperatura de digestión para que el caucho pueda combinarse favorablemente.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante que se difunda la cultura ambiental desde los organismos principales del Estado, motivando a empresas constructoras y a las propias personas a optar por asfalto ecológico en la fabricación de pavimentos.
- ✓ Al ser incalculables las llantas fuera de uso existentes, es esencial la utilización del polvo de caucho de las mismas en la fabricación de asfalto para reducir el impacto ambiental que éstas provocan.
- ✓ Es recomendable que las llantas usadas sean recicladas, dándoles buen uso y destino, y no sean eliminadas inadecuadamente porque provocan mayor contaminación ambiental.
- ✓ Es necesario efectuar ensayos con partículas de caucho de distintos tamaños a la ensayada para determinar si existen mejores resultados que con las partículas ensayadas en esta investigación.
- ✓ Investigar si el costo tendrá alguna variación al incorporar el polvo de caucho directamente al ligante, ya que presentaría una ventaja o desventaja en el momento de seleccionar de qué forma fabricar el asfalto ecológico.
- ✓ Realizar tramos de prueba en todo tipo de terreno para comprobar los resultados obtenidos de estas mezclas modificadas.
- ✓ Con la finalidad de continuar investigando los beneficios que provoca la incorporación del caucho proveniente de llantas usadas, es importante realizar ensayos por vía húmeda, debido a que el caucho en este método actúa como modificador del cemento asfáltico.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1]Silvia Eugenia Ruiz. “Día Mundial del Medio Ambiente y disposición de Neumáticos (Llantas) Usados”.Internet: www.2012profeciasmayasfindelmundo.wordpress.com/2014/06/05/dia-mundial-del-medio-ambiente-y-disposicion-de-neumaticos-llantas-usados/,Jun. 05, 2014 [May. 16, 2016].

[2] Sam. “Llantas usadas un gran problema de contaminación”. Internet: www.hometech.com.mx/llantas-usadas-un-gran-problema-de-contaminacion/, Nov.01, 2014 [May. 16, 2016].

[3] Fernando Fonseca. “Historia y reciclaje de las llantas”. Internet: www.sites.google.com/site/figurashechasconllantasusadas/home, [May. 16, 2016].

[4] Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. “Ecuador explora las posibilidades industriales del caucho reciclado de neumáticos”. Internet: www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-explora-posibilidades-industriales-caucho-reciclado-neumaticos.htmlOct. 29, 2015 [Abr. 12, 2016].

[5] Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. “Por primera vez caucho reciclado es usado como parte de capa asfáltica en Ecuador”. Internet: www.andes.info.ec/es/noticias/primera-vez-caucho-reciclado-es-usado-parte-capa-asfaltica-ecuador.htmlAbr. 2, 2015 [Abr. 12, 2016].

[6] “Se consolidan planes para el reciclado de llantas.” Internet: www.romedios.com/se-consolidan-planes-para-el-reciclado-de-llantas/ Ago.1, 2015 [Abr. 12, 2016].

[7] “Se impulsa reciclaje de llantas.” Internet: www.ambatonews.com/2015/05/29/se-impulsa-reciclaje-de-llantas May. 29, 2015 [Abr. 12, 2016].

- [8] Campaña et. (2015, Sep.). “Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores.” *Revista Politécnica*. [Online] 36(3), pp. 1. Disponible: www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/513/pdf [Abr. 12, 2016]
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). “Productos derivados del petróleo. Asfaltos sólidos oxidados. Requisitos.” Ecuador. NTE INEN 2064, 1996.
- [10] República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (M.O.P.). “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.” Ecuador. M.O.P. 001- F 2002.
- [11] Jean Carlos Tomala Magallanes. “Mantenimiento de la Capa de Rodadura de Concreto Asfáltico en un Pavimento Flexible.” Escuela Superior Politécnica del Litoral. Internet: www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19164/1/tomala-laica_resumen_.pdf
- [12] Emulsín. “Cemento Asfáltico AC-20.” Ficha técnica. Internet: www.emulsin.com.mx/cemento-asfaltico.html
- [13] Gabriel Enrique Bonett Solano. “Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible.” Universidad Militar Nueva Granada. Internet: www.civilgeeks.com/2015/05/31/guia-de-procesos-constructivos-de-una-via-en-pavimento-flexible/
- [14] Dean Orestes Carrasco Flores. “Estudio Comparativo entre Mezclas Asfálticas en Caliente y Mezclas Asfálticas con Emulsiones Tibias.” Tesis, Universidad de Piura, Perú, Sep. 2004.
- [15] Urbacom. “información General sobre Asfalto.” Internet: www.urbacom.eu/asfalto.htm [May. 20, 2016].

- [16] Yenny. “Usos del Asfalto”. Internet: www.asfaltoenobravicil.blogspot.com/2012/07/usos-del-asfalto.html Jul. 14, 2012 [May. 20, 2016].
- [17]R. Herrera, G. Botasso. “Caracterización de los Asfaltos Utilizados en las obras Viales del Ecuador.” Internet: www.lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006_Caracterizacion-Asfaltos-Obras-Viales-del-Ecuador_II-Simposio-Iberoamericano-y-Ecuatoriano-Ing-de-Pavim.pdf[May. 22, 2016].
- [18] Puma Robalino María Fernanda. “Diseño de Mezcla Asfáltica en Frío Reutilizando Neumáticos para la Construcción de Vías.” Tesis, Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [19] Náyade Irene Ramírez Palma. “Estudio de la Utilización de Caucho de Neumáticos en Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante Proceso Seco,” Tesis, Universidad de Chile, Chile, Dic. 2006.
- [20] Maila Paucar Manuel Elías. “Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA).” Tesis, Universidad Central del Ecuador., Ecuador, 2013.
- [21] Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte (SCT). “Análisis Comparativo de los Métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas.” Mexico. ISSN 0188-7297, 2005.
- [22]Maribel Díaz Vargas. “Guía Metodológica para la Integración del sistema de gestión, ISO 14001: 2004, OHSAS 18001:2007 para Empresas de Explotación y Producción de Agregados Pétreos.” Internet: www.repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/230/1/EC-Especializaci%C3%B3n%20en%20Gerencia%20Integrada%20QHSE-52956603.pdfMay.2015.[May. 28, 2016].

- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). “Neumáticos. Definiciones y Clasificación.” Ecuador. NTE INEN 2096, 1996.
- [24] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). “Neumáticos Reencauchado. Definiciones y Clasificación.” Ecuador. NTE INEN 2581, 1996.
- [25] Guillermo Castro. “Reutilización, Reciclado y Disposición Final de Neumáticos.” Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A. Internet: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf Dic. 2007.[Jun. 04, 2016].
- [26] Armando Martínez Casanovas “Manual de Información Técnica de Neumáticos.” Internet: www.fivi.cat/archivos_fivi/manual_llantas.pdf[Jun. 01, 2016].
- [27] Proyecto Dale Vuelta. “Composición de una Llanta.” Internet: www.dalevuelta.org/composicion.html
- [28] José Esteve. “Reciclaje de Neumáticos: Procesos y Usos.” Internet: www.reciclaieverde.wordpress.com/2012/06/26/reciclaje-de-neumaticos-procesos-y-usos/Jun. 26, 2012. [Jun. 05, 2016].
- [29] Ricardo Alberto Angulo Rodríguez. “Modificación de un Asfalto con Caucho Reciclado de Llanta para su Aplicación en Pavimentos.” Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Ags, 2005.
- [30] Nelson Eduardo Vargas Jiménez. “Diagnóstico de las Condiciones Superficiales y Evaluación del Comportamiento Estructural del Pavimento de las Vías Construidas por el Instituto de Desarrollo Urbano con Asfalto Modificado con Caucho Reciclado de Llanta (GCR),

en las Localidades de Fontibón, Bosa y Teusaquillo, en la Ciudad de Bogotá.” Tesis, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, 2014.

[31] Cabero Colín, Fernando. “Experiencia Española del Caucho NFU en las Mezclas Asfálticas.” Internet: www.recuperacion.org/proyecto/vernoticias.aspx?IdNoticia=164[Jun. 08, 2016].

2. ANEXOS

2.1 FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20, UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO.

EP - PETROECUADOR INFORME DE RESULTADOS



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con
ACREDITACIÓN No. OAE I.E. C13-002 2013-05-03

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACIÓN REFERENCIA: PROGRAMA DE TRANSFERENCIA IL-240
ORGANIZACIÓN: M01_REFINERIA_ESMERALDAS PRODUCTO: 0280 ASFA-TO AC-20
INFORME NO. M01-796-2015 CODIGO MUESTRA: ECC-16-2474

DATOS CLIENTE	
NOMBRE	INTENDENTE DE OPERACIONES ESMERALDAS (ING. ANTONIO MORALES)
DIRECCIÓN	Km 7 1/2 Antigua Via Atacames
TELÉFONO	052994000 (80004)
SOLICITADO POR	ING. REMIGIO PACHECO JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACION DE LA PRODUCCIÓN

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V13	HORA TOMA DE MUESTRA	20:45:00
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2016/08/27	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	20:50:00
CANTIDAD DE MUESTRA	1000 ml	PUNTO DE MUESTREO	AFORO DEL TANQUE
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2016/08/27		
LUGAR TOMA DE MUESTRA	SETRIA		

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	24.2 °C	PRESION BAROMÉTRICA	100.7 kPa
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	67.7 %HR	FECHA FINALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	2016/08/28 02:15:00
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2016/08/27 20:55:00		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2016/08/29		

PARAMETRO	METODO		ESPECIFICACION		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	UIP
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MIN.	MAX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	150	240	198,0	Pa s	±4.0%
VISCOSIDAD CINEMATICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	200	-	332,0	mm ² /s	±1.0%
PENETRACION 77 °F (25 °C; 100 G; 5s)	ASTM D5_NTE INEN 818	V03.06.01.03-T-20	90	-	73	0,1mm	±4.0mm
PUNTO DE INFLAMACION COPA ABIERTA CLEVELAND	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	250	-	296	°C	±4°C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99.9	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELICULA FINA EN HORNO ROTATORIO	N/A		N/A	N	-	-	-
VISCOSIDAD 60°C	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	600	639,0	Pa s	±4%
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min	ASTM D113_NTE INEN 816	V03.06.01.03-T-24	50	-	60,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319		REPORTE	REPORTE	5,7	°API	±4%
GRAVEDAD ESPECIFICA 60/60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319		REPORTE	REPORTE	1,0239	-	-
GRAVEDAD ESPECIFICA 25/25 °C	ASTM 70		REPORTE	REPORTE	-	-	-
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	ASTM D36				48,0	°C	-
INDICE DE PENETRACION	ASTM D5		1.5	-	-0.8	-	-
CAMBIO DE MASA	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	-	-0.1	%P	-
*API OBSERVADO: 14 505							
TEMPERATURA OBSERVADA: 60 °C							
OBSERVACIONES:							

REFINERIA - ESMERALDAS
CERTIFICADO: Que es copia del documento
que reposa en el Archivo de la Coordinación
General Control de Calidad
Esmeraldas, 2016-08-29
Pacheco

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

DR. JOSE ONCE CHAGHY
ESPECIALISTA DE CONTROL DE CALIDAD DE
AGUAS/ANALITICA

REMIGIO PACHECO
DIRECTOR TÉCNICO

NOTAS:

Los resultados se refieren únicamente a los objetos sometidos a ensayos
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del LCC-M01
Los ensayos marcados con (*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE
(1) Referido a la Norma INEN NTE 2515:2014 Enmienda 1
(2) La U es estimada Multiplicando la U Típica por el factor de cobertura K=2 (95% nivel de confianza)

Dirección Organización: Km 7 1/2 ANTIGUA VIA ATACAMES

Formato: V03.06.01.03-FO-310 (V16-2012-01-25)

Página 1 de 1

2.2 ANEXO FOTOGRÁFICO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN



Cantera “JEAL Construcciones”	Agregado grueso – Grava 3/4”
-------------------------------	------------------------------



Agregado grueso – Gravilla 3/8”	Agregado fino – Arena
---------------------------------	-----------------------



Secado del material triturado	Aquisición del cemento asfáltico AC-20
-------------------------------	--

2.2.1 Determinación de la granulometría de los áridos



Juego de tamices para granulometría



Tamizado de los áridos fino



Peso de cada tamiz para granulometría



Registro de peso de tamices



Tamizado de los áridos gruesos



Material de tamices

2.2.1 Determinación de la densidad o gravedad específica de los áridos



Grava 3/4 y 3/8 saturada



Arena saturada



Secado superficial del agregado grueso



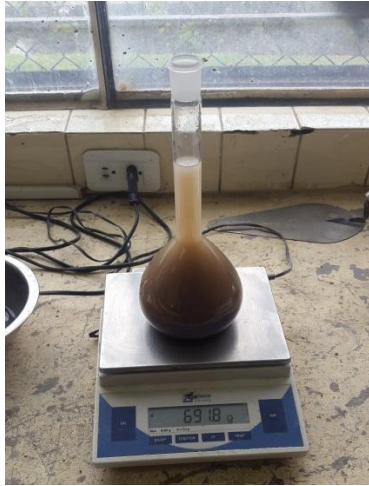
Secado superficial de la arena



Peso sumergido en condición sss



Condición de humedad de la arena



Picnómetro + agua + muestra sss



Muestra seca en horno

2.2.2 Determinación del valor de degradación de los agregados, mediante la Máquina de los ángeles



Lavado del material



Secado del material en horno



Pesaje del material de ensayo



Peso establecido para el ensayo



Máquina de los angeles	Ensayo en la máquina de los angeles
------------------------	-------------------------------------



Material despues de ensayo	Tamizaje del material de ensayo
----------------------------	---------------------------------

2.2.3 Determinación porcentaje de caras fracturadas en los agregados



Observación de las caras fracturadas	Clasificación de caras fracturadas
--------------------------------------	------------------------------------

2.2.4 Determinación de la granulometría del caucho



Caucho triturado

Peso para ensayo granulométrico



Tamizaje del caucho triturado

Pesaje de los distintos tamoces



Briqueta ensayada en máquina Marshall