



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO
VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO.”**

Autora: Estefania Gabriela Quimbita Loma

Tutora: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2023

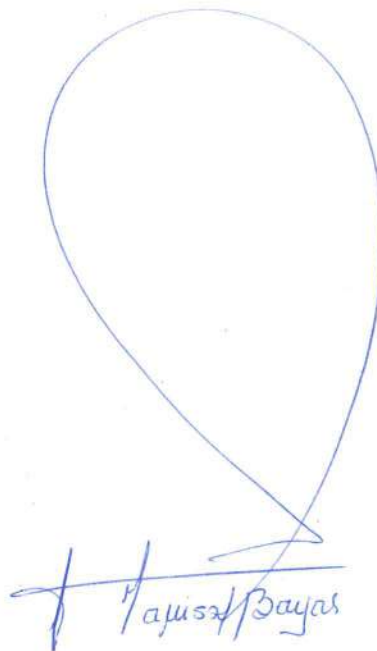
APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO”**, elaborado por la Srta. Estefania Gabriela Quimbita Loma, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 0550278394, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



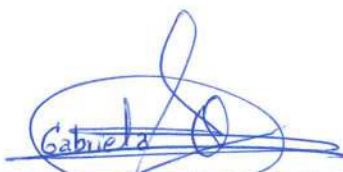
Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Estefania Gabriela Quimbita Loma, con C.I. 055027839-4 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO”**, así como también los análisis estadísticos, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Estefania Gabriela Quimbita Loma

C.I. 0550278394


AUTORA

DERECHOS DE 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 procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales 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, septiembre 2023



Estefania Gabriela Quimbita Loma

C.I. 0550278394

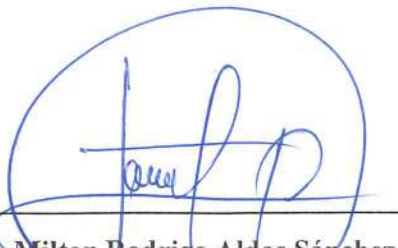
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por la estudiante Estefania Gabriela Quimbita Loma, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



Ing. Milton Rodrigo Aldas Sánchez, Ph.D.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Fricson Lutgardo Moreira Cedeño, Mg
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con gratitud e incondicional amor, dedico este trabajo de titulación a mis amados padres Carlos Quimbita y Laura Loma, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo en cada etapa de mi vida. Su amor, sacrificio y esfuerzo han sido en mí el soporte principal para mi formación y desarrollo académico y personal. Agradezco cada uno de los esfuerzos que me brindaron para alcanzar este logro.

Con inmenso amor quiero dedicar también al motor principal de mi vida mi amado esposo Edison Paul Velasco, quien ha estado a mi lado la mitad de mi camino en esta vida, quien con sus palabras me alienta cada día a superarme y a darme cuenta de que soy capaz de mucho más, que nada es imposible y que pese a las dificultades “no va a soltarme”

A mis queridos hermanos, Verónica, Byron, Anita, María del Carmen y Betty, quienes aportaron de alguna u otra manera a que siga mi camino con sus palabras y acciones me acompañaron en el desarrollo de mi vida estudiantil y personal. Acciones que han hecho que llegue a cumplir mis objetivos y metas en la vida. Mis cuñados quienes siempre estuvieron predispuestos a brindarme su apoyo y aliento con cada una de sus palabras, mis pequeños sobrinos que alegran mis días con sus locuras y a mi nena perrito que me da su amor más sincero.

Finalmente, elevo mi gratitud a Dios, a la Virgen de Baños de Agua Santa, a San Antonio y al Divino niño, que ilumina y protege mi sendero cada día y me brinda la oportunidad de seguir adelante. Con su guía, he encontrado fuerzas para alcanzar mis sueños.

Este trabajo va también dedicado con cariño y reconocimiento a toda mi familia quienes han contribuido en mi formación y crecimiento personal. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Estefania Gabriela

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Carrera de Ingeniería Civil, docentes y personal que labora en la institución por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y contribuir al desarrollo de la sociedad.

Mi gratitud sincera al Ing. Marisol Bayas, mi tutora, por creer en mí y acompañarme durante estos meses en el desarrollo de este trabajo de titulación. Su paciencia, comprensión y amistad han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Asimismo, deseo agradecer a mis compañeros de universidad, con quienes he compartido innumerables momentos y horas de estudio en especial a Andrés, Kevin, Franklin y Lisett por estar a mi lado y compartir experiencias tanto en el salón de clase como en la vida. Sus alentadores consejos y constante motivación han sido un impulso esencial para culminar exitosamente esta anhelada etapa de mi vida.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo de todos mencionados, de la familia y quien a través del tiempo se convirtieron en familia y me siento afortunado de contar con su presencia en este camino de aprendizaje y crecimiento.

Estefania Gabriela

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
Tema de trabajo experimental.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	5
1.1.3. Fundamentación Teórica	6
1.1.3.1. Asfaltos.....	6
Definición de Asfalto.....	6
Propiedades del asfalto	7
Tipos de Asfaltos.....	7
Usos del asfalto.....	8
Asfaltos producidos nacionalmente	8
1.1.3.2. Agregados.....	9
Agregado grueso.....	10
Agregado fino	10
Propiedades físicas del Agregado	11
1.1.3.3 Pavimento.....	12
Pavimento rígido	12
Pavimento flexible	12
Pavimentos con superficie de concreto asfáltico.	13

1.1.3.4 Capa de Rodadura o carpeta asfáltica.....	13
1.1.3.5 Emulsiones asfálticas.....	14
Tipos de Emulsiones Asfálticas.....	15
Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas.....	16
1.1.3.6 Neumático o llantas.....	16
Caucho.....	16
Neumáticos usados.....	17
Composición general de los neumáticos.....	17
Procesos de reutilización de las llantas o neumáticos.....	19
Industrialización para el proceso de trituración de las llantas o neumáticos.....	19
Trituración Mecánica.....	19
Trituración Criogénica.....	20
Uso del producto procesado (neumáticos o llantas triturados).....	20
Empleo del caucho en la industria de la construcción de carreteras.....	20
Proceso por vía seca.....	21
Proceso por Vía húmeda.....	22
1.1.3.7. Concreto Asfáltico.....	23
1.1.3.8. Método Marshall.....	23
Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.....	26
Evaluación y ajuste de una mezcla diseñada.....	27
1.1.3.9 Diseño de Pavimentos Flexibles.....	28
1.1.3.9.1 Método AASTHO 93 para pavimentos flexibles.....	28
1.1.3.10. Fundamento Legal.....	31
1.1.4.Hipótesis.....	31
Variable Independiente.....	31
Variable Dependiente.....	31
1.2. Objetivos.....	32
1.2.1. Objetivos General.....	32
1.2.2. Objetivos Específicos.....	32
CAPÍTULO II.....	33
2. METODOLOGIA.....	33
2.1 Descripción de la Metodología.....	33
2.2 Tipo de Investigación.....	33
2.3 Población / Muestra.....	34

2.4 Materiales y Equipos	36
2.5 Plan de Recolección de Datos	36
2.6. Plan de Procesamiento y Análisis de Información	37
Procesamiento de la Información	37
Análisis de la información	37
2.7. Ensayos realizados.....	37
Análisis granulométricos	38
Granulometría de los agregados	38
Gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM D-127).....	40
Gravedad específica y Absorción del Agregado Fino (ASTM D 128).....	43
2.8 Métodos a utilizar	46
2.8.1. Mezcla de agregados	46
2.8.2 Elaboración de briquetas	47
2.8.3. Cálculo método Marshall.	49
2.8.3.1 Gravedad específica Bulk agregados.....	49
2.8.3.4. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).....	51
2.8.3.5. Determinación de Estabilidad y flujo	51
CAPITULO III	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1. Contenido de Humedad Agregado Grueso 3/4”	53
3.2. Contenido de Humedad Agregado 1/2”	54
3.3. Contenido de Humedad Agregado Fino	55
3.4. Granulometría Agregado 3/4"	56
3.5. Granulometría Agregado 1/2"	58
3.6. Granulometría Agregado Fino	60
3.7. Gravedades Específicas y Absorción Agregado 3/4"	64
3.8. Gravedades Específicas y Absorción Agregado 1/2"	65
3.9 Gravedades Específicas y Absorción Agregado fino.....	66
3.10 Gravedades específicas resumida de los agregados.	67
3.10 Diseño Marshall de la mezcla asfáltica.....	68
3.10.11. Determinación de RICE sin caucho vulcanizado (0%).....	68
3.10.12. Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall.	69
3.10.13. Gráficos sin adición de caucho.....	70

3.11. Elaboración de briquetas con caucho triturado vulcanizado en diferentes porcentajes.....	73
Determinación de RICE con caucho vulcanizado en diferentes porcentajes	73
3.11.1 Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para porcentajes de caucho.....	75
3.11.2. Gráficos con adición de caucho al 3%	76
3.12. Resultados obtenidos con los diversos porcentajes de caucho	79
3.13 Diseño de pavimento flexible	80
3.13.1 Mezcla asfáltica sin adición de caucho	80
3.13.2 mezcla asfáltica con el 3% de adición de caucho vulcanizado triturado.	83
CAPITULO IV.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
4.1 CONCLUSIONES	85
4.1 RECOMENDACIONES.....	87
C. MATERIAL DE REFERENCIA	88
Bibliografía	88
ANEXOS.....	91

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01.- Composición típica de las llantas o neumáticos de pasajeros (automóviles y camionetas).	18
Tabla N°02.- Mínimo Porcentaje de Vacíos de agregado mineral (VMA)	24
Tabla N° 03.- Valores de equivalente de arena en los agregados de una muestra.....	25
Tabla N° 04. Criterios de diseño de mezclas Marshall	26
Tabla N° 05. Población y muestra en los ensayos de laboratorio Método Marshall .	34
Tabla N° 06.- Materiales y equipos	36
Tabla N° 07. Plan de recolección de datos.....	36
Tabla N°08.- Pesos de la muestra según tamaño del agregado.....	41
Tabla N° 09.- Resultados del ensayo de contenido de humedad agregado 3/4"	53
Tabla N° 10.- Resultados del ensayo de contenido de humedad agregado 1/2"	54
Tabla N° 11.- Resultados de contenidos de humedad en agregado fino.....	55
Tabla N° 12.- Resultados granulometría agregado 3/4".	56
Tabla N° 13.Resultados de la granulometría de 1/2"	58

Tabla N° 14.- granulometría agregado fino	60
Tabla N° 15.- Mezcla Propuesta	62
Tabla N° 16.- Resultados gravedades específicas agregado 3/4"	64
Tabla N° 17.- Resultados gravedades específicas del agregado 1/2"	65
Tabla N° 18.- Resultados gravedad específica agregado fino.	66
Tabla N° 19.- Resumen de gravedades de los agregados.	67
Tabla N° 20.- Resultados ensayo RICE al 0% de caucho.....	68
Tabla N° 21.- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall.....	69
Tabla N° 22.- Resultados de la muestra sin caucho	72
Tabla N° 23.- Resultados ensayo RICE	73
Tabla N° 24.- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall con adición de 3% de caucho	75
Tabla N° 25.-Resultados ensayos Marshall con adición de 3% de caucho triturado vulcanizado.....	78
Tabla N° 26.- Valores resultados del ensayo Marshall en distintos porcentaje.....	79

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01.- Agregado grueso	10
Gráfico N° 02.- Agregado fino	10
Gráfico N° 03.- Material pétreo de la Cantera Herrera.....	11
Gráfico N° 04.- Composición de los neumáticos.....	18
Gráfico N° 05.- Ejemplo de análisis de Marshall	27
Gráfico N° 06.- Ecuación general para el diseño por el método AASTHO 93	29
Gráfico N° 07.- Niveles de confiabilidad.....	30
Gráfico N° 08. Niveles de confiabilidad (Zr)	30
Gráfico N° 09.- Minas de la Cantera Herrera	38
Gráfico N° 10.- Granulometría de los agregados.....	38
Gráfico N° 11. Ensayo granulométrico de los agregados.	40
Gráfico N° 12. Ensayo para determinar Gravedad específica en el agregado grueso	43
Gráfico N° 13. Ensayo para determinación de gravedad específica en agregado fino	45
Gráfico N° 14. Pesaje de los materiales.....	48

Gráfico N° 15.-Preparación de la mezcla.....	48
Gráfico N° 16. Colocación de la mezcla en los moldes.....	48
Gráfico N° 17. Briquetas terminadas.	49
Gráfico N° 18. Equipo Marshall	52
Gráfico N° 19.- Granulometría agregado 3/4"	57
Gráfico N° 20. – Granulometría agregado 1/2"	59
Gráfico N° 21.- granulometría agregado fino	60
Gráfico N° 22.- Curva granulométrica de la mezcla.....	63
Gráfico N° 23.- Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica.....	70
Gráfico N° 24.- Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico.....	70
Gráfico N° 25.- Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica	70
Gráfico N° 26.- Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico	71
Gráfico N° 27.- Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica	71
Gráfico N° 28.- Curva de Flujo vs emulsión asfáltica	71
Gráfico N° 29. Curva peso Específico Bulk vs % emulsión asfáltica.....	76
Gráfico N° 30.- Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico.....	76
Gráfico N° 31.- Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica	76
Gráfico N° 32.- Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico	77
Gráfico N° 33.- Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica	77
Gráfico N° 34.- Curva de Flujo vs emulsión asfáltica	77
Gráfico N° 35. Valores de a_n para número estructural.....	81
Gráfico N° 36.-Valores de diseño para calidad de drenaje para pavimentos flexibles	82
Gráfico N° 37. Estructura del pavimento flexible.....	83

RESUMEN EJECUTIVO

A medida que pasan los días el problema de la contaminación ambiental resulta un problema crítico para la sociedad por lo cual se ha visto la necesidad de crear nuevas técnicas de reciclaje de productos que diariamente aumentan en los diferentes depósitos de nuestro país como en los neumáticos que son trasladados a depósitos para su disposición final mismos que no cuentan con la técnica para su eliminación resultando un impacto ambiental negativo, pudiendo ser utilizadas para la construcción de vías.

La presente investigación tiene como finalidad adicionar caucho vulcanizado triturado en mezclas asfálticas en frío elaborando 3 briquetas para los porcentajes de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 por ciento de adición de caucho, con agregado pétreo obtenido de la cantera Herrera de la ciudad de Latacunga, aplicando el método Marshall para la obtención de parámetros que a posterior nos permitirá diseñar una estructura de pavimento flexible.

Realizadas las briquetas procedemos a ensayar donde se obtiene la estabilidad y flujo dando el porcentaje óptimo para la muestra sin caucho de 6.03, y con caucho vulcanizado triturado 3, 6, 9, 12 y 15 por ciento, con porcentaje óptimo de 6.2, 6, 6.13, 6.03, y 5.9 por ciento respectivamente, indicando que mientras más se aumenta el porcentaje de caucho triturado vulcanizado la estabilidad baja pero el flujo aumenta es decir la muestra se mantiene elástica. Para el diseño de una estructura de pavimento flexible los espesores de la losa asfáltica son de 5cm, para base de 10cm y subbase de 10cm.

Palabras claves: Emulsión asfáltica, Agregado pétreos, Briquetas, Caucho vulcanizado, Pavimento flexible.

ABSTRACT

As the days go by, the problem of environmental pollution is a critical problem for society, so it has become necessary to create new techniques for recycling products that daily increase in the different deposits of our country, such as tires that are transferred to deposits for their final disposal, which do not have the technique for their elimination, resulting in a negative environmental impact, and can be used for the construction of roads.

The purpose of this research is to add crushed vulcanized rubber in cold asphalt mixtures by elaborating 3 briquettes for the percentages of 0, 3, 6, 9, 12 and 15 percent of rubber addition, with stone aggregate obtained from the Herrera quarry in the city of Latacunga, applying the Marshall method to obtain parameters that will later allow us to design a flexible pavement structure.

Once the briquettes were made, we proceeded to test the stability and flow, giving the optimum percentage for the sample without rubber of 6.03, and with crushed vulcanized rubber 3, 6, 9, 12 and 15 percent, with optimum percentages of 6.2, 6, 6.13, 6.03, and 5.9 percent respectively, indicating that as the percentage of crushed vulcanized rubber increases, the stability decreases but the flow increases, that is to say, the sample remains elastic. For the design of a flexible pavement structure, the thickness of the asphalt slab is 5 cm, for base of 10 cm and subbase of 10 cm.

Key words: Asphalt emulsion, Stone aggregate, Briquettes, Vulcanized rubber, Flexible pavement

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

Tema de trabajo experimental

“Evaluación del efecto de la adición de caucho vulcanizado triturado en mezclas asfálticas en frío”

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes.

A nivel mundial y pensando en el cambio climático, se ha observado que la cantidad de vehículos alcanza un número que ha afectado al medio ambiente, ya sea por la contaminación sónica, con dióxido de carbono o por la cantidad de material desechable que producen y que por su composición se dificulta su degradación en el ambiente, uno de estos materiales o producto son los neumáticos, llantas o cauchos. [1]

La primera opción para la disposición final de estos productos son los rellenos sanitarios, pero esto crea un problema ambiental pues los mismos por sus características propias impiden que su descomposición en el ambiente sea muy compleja. De allí que por causa de estos productos se pueden producir incendios, proliferación de enfermedades al ser focos de alimañas. En otros casos la decisión de las autoridades o quienes manejan los sitios de deposición sea quemarlos, que a raíz de esto el ambiente se vea afectado considerablemente generando un nuevo problema ambiental. [1]

Se han creado alternativas para el uso o buen aprovechamiento de las llantas de desecho (sea en todo o partes) reacondicionamiento en fábricas especiales, en decoración de diversos muebles como artesanías, en la industria del cemento como materia prima para hornos, en centrales térmicas, y como materia prima de mezclas asfáltica para la producción de carreteras asfálticas. [2]

Por ello desde hace muchos años investigadores universitarios de todo el mundo y de nuestro país vienen trabajando en la búsqueda de diseños de mezclas asfálticas. Se han

llevado a cabo una serie de investigaciones en diferentes industrias en un intento de reducir costos y reducir la contaminación ambiental. [2]

Según el trabajo titulado “Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico”. [1], de la Universidad Técnica de Ambato, Vega Danilo, 2016, describe el proceso seco para la obtención de asfalto modificado con polvo de caucho a partir del reciclaje de llantas, la mezcla se diseñó mediante el método Marshall, a la mezcla seca de asfalto-caucho se agregó 1%, 2% y 3% de polvo de caucho para reemplazar una pequeña parte del agregado fino, con el fin de evaluar la mezcla asfáltica fabricada, se realizó pruebas de gravedad específica máxima teórica, densidad de la mezcla asfáltica (método RICE), densidad aparente (peso unitario), porcentaje de vacío del agregados compactado. [1]

El rendimiento se evaluó mediante un análisis comparativo de estabilidad y flujo de la mezcla estándar con mezclas al 1%, 2% y 3%, en pleno cumplimiento de las especificaciones Marshall. De los resultados obtenidos se puede observar la mezcla modificada de cemento asfáltico al 7% tiene mejor estabilidad que la mezcla normal, y la mezcla modificada de cemento asfáltico al 6,5% y 7% tiene mayor fluidez lo que mejora la durabilidad y deformación por cargas generadas por el tráfico. Esto evitará el desgaste prematuro y el aumento de los costos de mantenimiento y reducirá su costo total. Los resultados obtenidos servirán de punto de partida para futuras investigaciones sobre la aplicación de mezclas asfálticas con polvo de caucho en nuestro país. [1]

De igual manera, se revisa la investigación “Uso y reutilización de residuos de caucho en pavimentos” [2]. Los neumáticos son importantes para las personas ya que ayudan en el transporte, pero la generación de desechos de caucho se ha convertido en un grave problema debido a su impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente. Por tanto, existe la necesidad de encontrar alternativas al aprovechamiento y/o reutilización de los residuos de caucho sin embargo la generación de residuos de caucho se ha convertido en un problema, una de las alternativas sería la aplicación en mezclas asfálticas. En un estudio experimental se investigó la posibilidad de incorporar caucho reciclado a mezclas de concreto compactado; los resultados mostraron que era posible obtener un compuesto con mejor consistencia, resistencia al agrietamiento y menor absorción de agua, pero la propuesta de este nuevo material es

adecuada para caminos de poco tránsito o caminos rurales (Peláez et al. 2017). Su investigación concluyó que reciclar caucho de neumáticos es de importancia para aplicar en la ingeniería civil, ayuda al medio ambiente y se puede utilizar como componente que mejore el rendimiento de losas de asfalto y construcciones. [2]

Se cita la investigación titulada “Investigación sobre la realidad del caucho en desuso en Perú comparándolo con otros países”. [3], cuyo objetivo principal fue el desarrollo de una investigación sobre la realidad del caucho en desuso en Perú comparándolo con otros países. El creciente daño ambiental a nuestro medio es una gran amenaza y un desafío para combatir, en la actualidad para lograr el desarrollo sostenible, las actividades humanas son la principal fuente de contaminación del planeta, debido que dan una cantidad relevante de residuos. Esta investigación consiste en un análisis teórico de diversas fuentes de información: normativa, artículos o trabajos de investigación que sustentan los beneficios en varios países. En cuanto al manejo correcto de los residuos provenientes de llantas fuera de uso (NFU), mediante la aplicación de una economía circular, la cual nos ofrece una serie de beneficios basados en la reutilización de un recurso que llega al final de su ciclo de vida, los residuos podrán formar parte de un ciclo patrón, convirtiéndose en insumo de un nuevo ciclo para la elaboración óptima de nuevos productos, evitando ser parte de los impactos negativos que sufre el ambiente y genera nuevas oportunidades y beneficios para los usuarios. ”. [3]

Se destaca el documento técnico titulado “Diseño del proceso de reciclaje y reutilización de neumáticos, introducción a la economía circular”. [4]de la Universidad Politécnica de Valencia, define que su objetivo es desarrollar un proceso productivo que recicle y reutilice neumáticos usados en la producción de polvo de caucho que posteriormente se utilizará para la producir mezclas asfálticas, con el fin de contribuir a la economía circular. Para el diseño del proceso de fabricación se tendrán en cuenta diversos aspectos como la determinación de la estrategia de cumplimiento de pedidos más adecuada, seleccionar la maquinaria y equipos de mantenimiento requerido, la estimación de las necesidades, ubicación de planta, personal requerido, entre otros.

El proceso de implantación desarrollado se concretará mediante la creación y puesta en marcha de una nueva empresa denominada RoadGreen S.A., localizada en Ecuador, siendo su principal actividad la producción de polvo de caucho. [4]

De la misma manera se cita la investigación “Utilización de gránulos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado” [5], cuya finalidad principal es determinar si el comportamiento de la mezcla de gránulos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso (NFU) de cierta granulometría combinado con material procedente del fresado RAP, en mezcla fría de 1%, 1.5%, 2% y 2.5%; se utiliza emulsión bituminosa como ligante para optimizar la resistencia y durabilidad de la capa de rodadura que conforma la estructura del pavimento flexible. Para esto, se realizó el proceso de triturado del caucho para obtener granos de 1 a 4mm y polvo de caucho, se realiza la evaluación y análisis de materiales y pavimento, para el diseño de la mezcla asfáltica. Se concluyó que la mezcla modificada no cumple con los parámetros de la norma ASTM 1560 donde el valor máximo especificado es 18. Considerando que la adición del grano de caucho se realizó por forma seca, no se produce el proceso de digestión debido que el grano de caucho fue utilizado como parte de los agregados no como modificador de la emulsión asfáltica. [5]

Finalmente, se destaca un trabajo académico titulado “Mezclas asfálticas mejoradas con caucho de llantas añadido por vía seca” [6]. Este trabajo tuvo por objetivo la evaluación experimental, el efecto de la adición en diversos porcentajes que tiene el GCR sobre las propiedades de mezclas asfálticas densas y del agregado durante el proceso de preparación. Se desarrollaron diseños de mezclas asfálticas con 0%, 0.75% y 1.5% de caucho, y se realizaron pruebas de estabilidad y flujo Marshall, módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga, además de la evaluación de daño en agua, conservando la resistencia a la tracción indirecta. De los resultados obtenidos, se puede ver por el tamaño de la partícula es inconveniente agregar 1.5% de GCR a la mezcla asfáltica, porque su resistencia disminuirá, mientras que la adición de 0.75% de GCR no difiere mucho de las mezclas ordinarias, excepto por la deformación por fluencia y puede usarse según el refinamiento requerido, como una capa delgada de superficies de carreteras, con ahuellamiento muy reducido. [6]

1.1.2. Justificación

Según el ministerio del ambiente y agua se deben reciclar en Ecuador un porcentaje muy alto de llantas o neumáticos que entran importados al país y que ya cumplieron su vida útil, este número ronda los 3 millones actualmente. Esto ha acarreado un problema de contaminación ambiental debido a que todo este material es llevado a los rellenos sanitarios y botaderos. [7]

Por otra parte, los estudios que se han hecho a los neumáticos determinan que se necesitan alrededor de 500 años para su degradación, debido a ello la acumulación de estos genera un problema social, técnico, sanitario y económico.

En lo social la gran contaminación que genera todos estos neumáticos crea estrés en los habitantes de las ciudades que ven con preocupación cómo se crea contaminación y no ven la solución adecuada. Se plantea como una de las soluciones una mezcla asfáltica añadiendo este material con el fin de evitar la contaminación, además de generar empleos. [8]

En lo técnico se plantea una mezcla que cumpla con estándares de las normas nacionales e internacionales, que sea lo más idónea para el mercado del país, garantizando de esta manera un material que su uso sea constante y que el problema de contaminación se disminuya.

En la parte sanitaria si evitamos la aglomeración de los neumáticos que cumplieron su vida útil, en los rellenos sanitarios y botaderos se estará disminuyendo la ocurrencia de incendios que son los que generan gases tóxicos para las personas. Además de evitar que se genere la producción de alimañas que son causantes de enfermedades.

Desde el punto de vista económico como ya se ve en varias ciudades de Ecuador existen muchas empresas que reciclan llantas, pero son pocas las dedicadas a la reutilización como un agregado asfáltico. Últimamente se implementó un programa piloto, en la vía Pifo–Papallacta aplicando 600 metros lineales de mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado, para evaluar el método y analizar su aplicación más amplia. En algunos lugares, las personas ofrecen neumáticos dañados a los proveedores de servicios. [8]

1.1.3. Fundamentación Teórica

Las carreteras en Ecuador son uno de los medios públicos más importantes, debido a que garantizan el desarrollo económico, social y cultural tanto local como nacional, la calidad de vida de los habitantes se ve mejorada a través de la construcción y mantenimiento y en otro caso rehabilitación de estas. En la actualidad Ecuador tiene una red vial de 10.138,74 kilómetros de longitud. [9]

Es por ello por lo que realizar una alternativa innovadora para pavimentar dichas carreteras es muy importante desde el punto de vista tecnológico como de calidad de vida de los usuarios de las carreteras. Al plantear una mezcla asfáltica donde se le adiciona un material relativamente nuevo para este fin y que en la actualidad genera problemas al medio ambiente como son los neumáticos, se está resolviendo dos problemas puntuales en estos tiempos. [9]

Es por ello por lo que al plantear una mezcla asfáltica adicionando caucho vulcanizado triturado es el objetivo principal de esta investigación y la misma se sustentará teóricamente en los puntos que vamos a desarrollar a continuación.

Existen conceptos básicos que debemos conocer para comenzar una sustentación teórica como es pavimento y sus características, el cemento asfáltico, emulsiones asfálticas, su composición y propiedades, el caucho de llantas y su composición, entre otros aspectos [9]

1.1.3.1. Asfaltos.

Definición de Asfalto.

La ASTM define el asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, que se encuentra constituido de principio, por betún que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El Betún de acuerdo con la ASTM, es una sustancia ligante sólida, semisólida o viscosa, oscura o negra, natural o artificial, compuesta principalmente por hidrocarburos.

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido a temperatura ambiente normal, al calentarse lo suficiente, se ablanda y se vuelve líquido, permitiendo cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente. [10]

Son materiales aglomerados de forma sólida o semisólida, generalmente de color negro que se licuan gradualmente al calentarse; son un producto del residuo obtenido de la destilación o aplicación de gas en la unidad de vacío al petróleo que sale de los pozos, dependiendo del tipo de petróleo se obtendrá en mayor o menor cantidad. [4] [10]

Propiedades del asfalto

Propiedades Químicas: Está compuesto básicamente por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos.

Propiedades Físicas: son durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento. Son consideradas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de las vías. [10]

Tipos de Asfaltos

a. Asfaltos oxidados o soplados

Asfaltos sometidos a proceso de deshidrogenación y luego a prolimeración, a elevadas temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas.

b. Asfaltos sólidos o duros

Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente inferior a 10. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeables, se caracteriza por su flexibilidad, dureza y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes. [11]

c. Asfaltos líquidos

Se denominan también asfaltos rebajados, de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, su límite máximo es 300. [11]

d. Asfalto de curado rápido

Al ser el disolvente de tipo de nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos 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. [11]

e. Asfalto de curado medio

Cuando el disolvente es queroseno, designamos con las letras MC (medium curing), seguidos con un número que muestra el grado de viscosidad cinemática medido en centiéstokes. [11]

f. **Asfalto de curado lento**

Cuando su disolvente es aceite liviano, respectivamente poco volátil, se designa por las letras SC (SlowCuring), seguidos por el número que muestra el grado de viscosidad cinemática medida en centiéstokes. [11]

Usos del asfalto

Al ser un material impermeable, adherente, resistente y cohesivo, capaz de fluir bajo la acción de cargas permanentes, con propiedades excelentes en la construcción logran cumplir las siguientes funciones:

- Impermeabiliza la estructura del pavimento y es eficaz contra la penetración del agua que resulta de la precipitación.
- Proporciona una fuerte adherencia y cohesión entre los agregados y resiste al daño mecánico. También aumenta la capacidad portante de la estructura por lo tanto reduce su espesor.[16]

Asfaltos producidos nacionalmente

a. **Asfalto de Origen Artificial**

- se obtiene por la destilación del petróleo. Esta actividad es realizada principalmente en refinerías. Según la presentación del producto final, podemos tener asfaltos sólidos, semisólidos y líquidos. [17]

a. **Asfalto Sólido**

Se obtiene por medio del enfriamiento del asfalto líquido obtenido en la planta asfálticas.

b. **Asfalto semisólido.**

Se conoce también como asfalto soplado u oxidado, se lo obtiene al incluir aire a través del residuo durante el último proceso del refinamiento. Posee propiedades especiales como: rigidez muy alta y consistencia elevada ante temperaturas que se lo expone. Los asfaltos semisólidos no se aplican directamente como capa de rodadura, más bien se lo aplica para rellenar juntas de pavimentos de hormigón y en pavimentos rígidos viejos para sellar cuando se presentan huecos. [17]

c. Asfalto Líquido

Se lo denomina 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”. Estos materiales 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 y, Finalmente, los SC conllevan diluyentes que se evaporan muy lentamente como los aceites combustibles y diésel. [17]

1.1.3.2. Agregados

Material granular o agregado mineral utilizado como parte de un pavimento. entre los agregados principales están: arena, grava, piedra triturada y polvo de piedra. Son componentes naturales que compone un concreto ya sea de cemento portland o asfáltico. Son partículas con diferentes gradaciones dependiendo de la necesidad que se tenga se producirá en una procesadora. Es muy importante saber que los agregados son producto que se obtienes del proceso de pasar cierta cantidad de material extraído de canteras, minas o ríos con unos diámetros que varían por una máquina trituradora. Dicha maquina luego de triturado el material separa las partículas dependiendo del uso o de las necesidades[13]

Son la parte primordial de la mezcla asfáltica pues de ellos depende la forma en que se comporte estructuralmente la misma. Un agregado contaminado trae consecuencia a la Mezcla asfáltica pues al combinarse con el ligante puede que el mismo genere problemas físicos de la mezcla en campo.

Una mezcla bien diseñada, dependiendo de su procedencia tiene un porcentaje entre el 90% y 95% del total del peso de la mezcla, bien sea en caliente o en frío. Por otra parte, también se debe tomar en cuenta la cantidad de material que se puede utilizar pues si en el sitio donde se debe producir la mezcla asfáltica la cantidad de agregados es menor

a la necesaria, trae como factor negativo debido a que los costos se incrementan por transporte. [13]

Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material que proviene de la desintegración de la roca de origen volcánico y que por su tamaño queda retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm).

Gráfico N° 01.- Agregado grueso



Fuente: Autor

Agregado fino

El agregado fino es el producto que proviene de la desintegración de la roca volcánica y que por su tamaño pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en el tamiz número 200.

Gráfico N° 02.- Agregado fino



Fuente: Autor

La obtención de los agregados para la presente investigación se la realizó de la Cantera Herrera directamente de las pilas de almacenamiento conociendo previamente el tamaño máximo nominal de cada pila, se utilizará un agregado de 3/4"

aproximadamente 15kg para ensayos, agregado ½” una muestra aproximada de 45kg y fino una muestra de 60 kg aproximadamente.

Gráfico N° 03.- Material pétreo de la Cantera Herrera



Fuente: Autor

Propiedades físicas del Agregado

Al hablar de calidad el agregado para una mezcla asfáltica, debe cumplir con características o propiedades físicas como son:

– Graduación y tamaño de partícula. Granulometrías

La normativa establece márgenes adecuados para elaborar las mezclas asfálticas, límites superiores e inferiores que son los rangos en los cuales determinados agregados o combinados de varios agregados deben entrar, los cuales serán el punto de partida para un diseño en los cuales los agregados deben soportar los esfuerzos a los que estarán sometidos al ser utilizados como parte de la estructura del pavimento

– Tenacidad. Ensayo de la máquina de los ángeles

Los agregados en el caso de mezclas asfálticas donde los esfuerzos son desde el mismo momento de la colocación, donde al ser sometida la mezcla asfáltica a una carga por golpeteo en el caso del equipo vibro compactador ponen a prueba la naturaleza del agregado. [14]. El origen de la roca en la cual se produce el agregado es muy importante, pues debe garantizar que el material no se fracture al aplicar cargas, la granulometría no debe cambiar y que la mezcla asfáltica sigue conservando su diseño original.

– Capacidad de absorción. Densidad relativa de los agregados

Un agregado poroso es perjudicial para los agregados usados en las mezclas asfálticas, presencia de agua constantemente acelera el proceso de oxidación, lo que conlleva al deterioro prematuro y en consecuencia su vida útil se merma al margen que se debe realizar mantenimiento al poco tiempo de haberlo colocado.

Es decir que si un agregado tiene la capacidad de absorber debe continuar absorbiendo en el tiempo en la mezcla asfáltica [14]

– Afinidad con el asfalto. Observaciones en laboratorio de la mezcla preparada

En la naturaleza hay rocas o materiales que tienen la capacidad de aceptar de manera muy gratificante una capa de asfalto. Se pueden mencionar las rocas sedimentarias calcáreas que son las que tienen la capacidad antes mencionada. Como se dijo anteriormente, así como existen materiales afines al asfalto también existen otros que no son capaces de tener esta propiedad entre los que podemos mencionar los agregados hidrofílicos los cuales no se recomienda su utilización o tener muy en cuenta esta capacidad. [14]

1.1.3.3 Pavimento

El pavimento es la capa superficial que observamos en las arterias viales ya sean caminos, vías principales, avenidas, autopistas, el mismo puede ser de concreto de cemento portland (pavimento rígido) o de cemento asfáltico (pavimento flexible)

Pavimento rígido

Es el que por sus características y composición posee la propiedad de soportar cargas a compresión y sin tener la capacidad de deformarse ante las mismas [10]

Pavimento flexible

Es una estructura formada de varias capas: subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica; cada una con una función determinada. 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 proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada con la suficiente rugosidad para la seguridad de los usuarios. El espesor de las capas generalmente depende del tamaño del agregado utilizado, de la capacidad de soporte de las capas como son rasante subrasante base y súbbase granular es por ello que es variable. Todas las capas trabajan en conjunto si falla alguna el pavimento tiende a fallar ya sea por presencia de agua que puede saturar los materiales y posteriormente se producen fallas al aplicar cargas. [10], tiene la propiedad de que al ser sometido a las cargas se puede deformar dependiendo de ciertas características como el flujo y la cantidad de vacíos en la mezcla diseñada. Por su rapidez al momento de ser colocado en obra es el más utilizado a nivel mundial. [10]

Pavimentos con superficie de concreto asfáltico.

Pavimento donde la capa de rodadura se conforma por una carpeta de concreto asfáltico, compuesta de material pétreo y productos asfálticos. Su función debe proporcionar una superficie estable, impermeable, uniforme y texturizada apta para el tránsito.

1.1.3.4 Capa de Rodadura o carpeta asfáltica.

Así se denomina a la última capa que se construye, y sobre la cual circulan los vehículos por esto, debe ser resistente a la abrasión producida por el tráfico y a exigencias de cada región; tiene como función proteger la estructura impermeabilizando la superficie del pavimento para que pavimento no falle por la presencia de agua. [9] La textura superficial de la capa de rodadura para una adecuada circulación vehicular debe presentar dos características :suavidad, es decir que brinde comodidad al momento de circular con el vehículo por la vía, y rugosidad para seguridad y adherencia con los neumáticos del vehículos debe presentar dos características para atender adecuadamente la circulación de los vehículos: la suavidad, para que sea cómoda evitando saltos al momento de transitar con el vehículo por la vía, y la rugosidad, para que sea segura y tenga adherencia con los neumáticos del vehículo. [9]

1.1.3.5 Emulsiones asfálticas.

Es el resultado de tres componentes principales: asfalto, agua y una cantidad específica de un agente emulsificante. En general se busca que las emulsiones sean estables y permitan tender carpetas asfálticas en frío es decir a temperatura menor a 100°C.

En emulsiones asfálticas el agua y asfalto son líquidos no miscibles, se adiciona el emulgente en la interfaz entre el agua y el asfalto para estabilizar la emulsión esto dependerá del tipo de emulsión que se requiera. Las emulsiones del tipo asfáltico aparecen a principios del siglo XX en distintos lugares y diversos usos. [12]

Se emplea por primera vez a principios de 1900 en la ciudad de Nueva York para construcción de carreteras; la emulsión utilizada es del tipo aniónica y se empleó en caminos fabricados con material pétreo, como una manera de evitar el polvo cuando transitaban los vehículos. En 1914 en Indiana comenzó a realizarse trabajos de reparación de caminos empleando este tipo de emulsiones aniónicas. El mismo año, en Europa específicamente en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, en este caso la emulsión fue estabilizada reaccionando activamente con los materiales pétreo. En la fabricación de éstas se aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para que actuaran como el agente emulsificante. [12]

En Latinoamérica las emulsiones asfálticas se comenzaron a utilizar en México de 1930 a 1935 para la construcción de carreteras. Pero se encontraron varios inconvenientes al romper la emulsión, en épocas de lluvia que dieron como consecuencia retrasos en las obras. Motivo por el cual los asfaltos rebajados ganaron la preferencia del constructor y hasta la actualidad, no han podido ser reemplazados. [12]

Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. su aplicación inicial fue en la construcción de caminos coincidiendo con la aparición de nuevos productos químicos en el mercado, los cuales tienen otros usos. Las emulsiones fueron utilizadas al principio para capas de sellos luego de colocar la carpeta asfáltica. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de un emulsificante

que produjera una emulsión de rompimiento lento, que pueda mezclarse con una granulometría para base o para carpeta

Estados Unidos, Francia, España y Japón son países con mayor producción de emulsiones asfálticas entre estos cuatro países se fabrica aproximadamente un 40% de la producción mundial de emulsión asfáltica[12]

Tipos de Emulsiones Asfálticas.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo con el tipo de emulgente usado [12]. Estas son aniónicas y catiónicas:

a. Emulsiones Aniónicas:

En esta emulsión el agente emulsificante les proporciona polaridad negativa a los glóbulos, es decir adquieren una carga negativa.

b. Emulsiones Catiónicas:

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea, adquieren una carga positiva.

Con respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a. De Rompimiento Rápido:

Utilizada en riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60)

b. De Rompimiento Medio:

Normalmente es empleado para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente si el contenido de finos es menor o igual al 2%, y para trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.

c. De Rompimiento Lento:

Se emplean en carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones

d. Para Impregnación:

Utilizadas en impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.

e. Super Estables:

Estas se emplean para estabilizar materiales y recuperar pavimentos.[6]

Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas

Al usar emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, se debe controlar el rompimiento. dependiendo de la situación en la que se esté trabajando. Este fenómeno de rompimiento o ruptura ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo o agregado. La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño dentro de la emulsión; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando la capa asfáltica. [12]

Los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. [12]

La ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad. La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo. [12]

1.1.3.6 Neumático o llantas

Desde el punto de vista automotriz, un neumático es un dispositivo compuesto por varios materiales entre ellos: caucho, derivados de petróleo(químicos) y una estructura de metal-acero que brinda durabilidad cuando se utilizan para coches o automóviles a tracción y por su puesto son un modo de apoyo o sostén del automóvil en las vías. [15]

Caucho

Para definir, debe quedar en claro que se puede conseguir de dos maneras. Directamente de la naturaleza en el árbol de caucho, de forma artesanal, se recolecta a

mano la salvia del árbol y se procesa para obtener el caucho. Actualmente el caucho utilizado de neumáticos se obtiene mediante un proceso artificial de los derivados del petróleo. [7]

Al conocer de donde procede el caucho o cómo se obtiene. Ahora podemos definirlo y al mismo tiempo conocer algunas de sus propiedades. Es el material principal más utilizado debido a su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica [7]

Neumáticos usados

En el mundo debido a la gran cantidad de neumáticos desechados y que no tienen cavidad en los sitios de deposición de final, se presenta un grave problema de contaminación, pues su degradación en el medio ambiente requiere de un largo periodo de tiempo. En muchos lugares estos neumáticos desechados crean focos de contaminación dando paso a criaderos de zancudos lo que provoca epidemias como es el caso del Dengue. [7]

Ante este grave problema de contaminación y medio ambiente la educación sobre el reciclaje se ha planteado a nivel mundial, para que estos materiales en desuso sean aprovechados para la producción de nuevos materiales para diversos fines ya sea en agricultura, industrias, construcción, entre otros. [7]

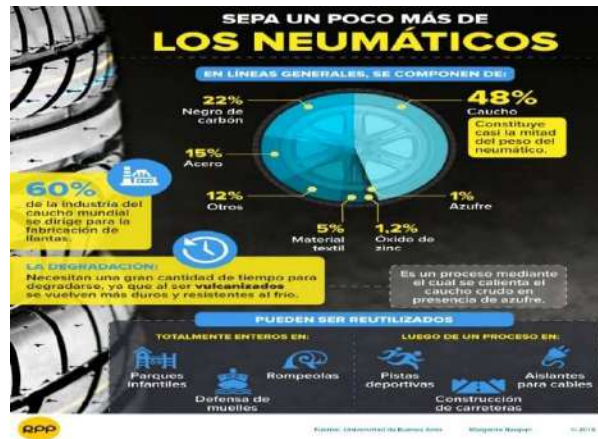
Composición general de los neumáticos

Según el propósito de una llanta o neumático tiene la misma composición, pero la cantidad de componentes pueden variar según su lugar de procedencia. Los componentes de una llanta o neumático son una malla de acero y/o textil que le da apoyo y soporte, una capa exterior de caucho macizo moldeado, que forma la banda de rodadura que sujeta el automóvil a la estructura del pavimento. Una composición muy común es de 48% caucho (natural y sintético), 22% carbono, 15 % acero, 5% material textil, 1,2% zinc, 1% azufre y 12% de distintos componentes. [3]

El neumático o llanta tiene como función principal el apoyo del vehículo en la carretera, la parte en contacto con la misma es la capa de rodadura la cual debe ser altamente resistente al desgaste y garantizar la seguridad del conductor en la vía.

En el gráfico podemos observar la composición de los neumáticos cuando se fabrican para ser colocados en mercado. [3]

Gráfico N° 04.- Composición de los neumáticos



Fuente: Universidad de Buenos Aires, Margarita Naupari, 2018

A nivel mundial, la industria del caucho natural o sintético está orientada a la producción de neumáticos debido a la alta demanda en el mercado. Pero también plantea preocupaciones sobre los problemas ambientales debido a la degradación de este material al vulcanizarse durante su uso, transformándose en un material con dureza y resistencias altas a los elementos ambientales. [3]

Existen otras tablas que determinan específicamente la composición de las llantas o neumáticos, dependiendo del uso de estos y de las características del automóvil que lo utilice, pasajeros o para camiones y microbuses.

En la siguiente tabla se puede observar estas características

Tabla N° 01.- Composición típica de las llantas o neumáticos de pasajeros (automóviles y camionetas).

Componente	%
Caucho natural	14
Caucho sintético	27
Negro Humo	28
Acero	14 – 15
Fibra textil, suavizante, óxidos, antioxidantes	16 – 17
Peso Promedio	8,6 kg
Volumen	0,06 m3

Fuente: Materiales y compuesto para la industria del neumático

Procesos de reutilización de las llantas o neumáticos

Para Automóviles

Durante algunos años se ha utilizado el recauchado de llantas, que consiste en colocar otra banda de rodamiento nueva al neumático que cumplió su vida útil. Se le adhiere una capa nueva de caucho al neumático ya utilizado mediante un proceso de vulcanización que garantice seguridad y estabilidad al usar este neumático en los automóviles. [7]

Otros Usos

Actualmente se utiliza los neumáticos ya sea en su totalidad o su banda de rodamiento tenemos: parques infantiles. Como defensa de muelles, rompeolas de forma artesanal como floreros, muebles o más directamente como barreras antruidos, taludes, pistas de carreras, o utilizations agrícolas para retener el agua, controlar la erosión entre otros usos.

Industrialización para el proceso de trituración de las llantas o neumáticos

Se realizaron estudios para establecer los componentes de los neumáticos al saber sus cualidades del reciclaje y la forma de aprovecharlos en diversos usos, la trituración y separación de componentes se la realiza mediante trituradoras reduciéndola en partículas manejables para la elaborar nuevos productos. En la actualidad se conocen solo dos métodos de trituración que son: trituración mecánica y criogénica. [7]

Trituración Mecánica

Se lo realiza netamente con maquinaria sin adición de químicos ni calor para su proceso. Los neumáticos son llevados al sitio para su procesamiento y se coloca en las maquinas trituradoras hasta conseguir el volumen y tamaño de partícula para ser utilizado en otros productos. [7]

Trituración Criogénica

El proceso por la utilización de la maquinaria resulta costoso, siendo poco rentable económicamente. Los estándares de producción son bajos y existe dificultad para separar los componentes lo cual no resulta recomendable este método para procesar las llantas para reutilizar. [7]

Uso del producto procesado (neumáticos o llantas triturados)

Los diversos estudios nos muestran que la aplicación del caucho granulado es realmente posible como componente de las capas asfálticas que se usan en la construcción de las plataformas de las vías o carreteras. Al reutilizar estas partículas que inicialmente lleva años para su degradación se aporta en el cuidado del medio ambiente así también se disminuye la extracción de áridos en canteras, las carreteras son mejores y más seguras para los usuarios. [4]

El caucho procedente de los neumáticos usados y reutilizados se pueden adicionar como parte del cementante o también como capa de sello asfáltico (caucho asfáltico) o, como componente de los agregados o áridos. Según los estudios realizados en kilómetros de prueba con una mezcla con uso de caucho como parte de la mezcla asfáltica, se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos canales, con dichas cifras podemos decir son las alternativas más idóneas para ayudar al medio ambiente [4]

Empleo del caucho en la industria de la construcción de carreteras

El empleo de partículas de caucho nos proporciona varios beneficios en la construcción de carreteras ya sea en la adición como agregado o como cementante de la mezcla.

La utilización del caucho en la capa de rodadura nos trae las siguientes ventajas:

- Mejora la vida de la capa
- Mas elasticidad de la capa lo que implica menos deformación y menos peligro para los usuarios

- Resistencia al agrietamiento. Se reflejan en medida las fallas en el pavimento lo que trae que los mantenimientos alarguen su línea de vida
- Mas resistencia al arrastramiento

Por otra parte, el uso de caucho en pavimento drenantes o poroso las ventajas serán

- Impide acumulación de agua
- Incremente la adherencia
- Evita proyecciones de agua
- Buenas condiciones ópticas
- Bajo nivel de ruido

Adicional a estas ventajas que benefician la utilización de partículas se debe recalcar la forma en la que se debe adicionar o utilizar las partículas de caucho en los componentes de la mezcla asfáltica. Tenemos dos procesos en los cuales se adiciona las partículas por vía seca y húmeda, los cuales profundizamos a continuación [4]

Proceso por vía seca

Este proceso es el más utilizado por ser sencillo pues se adiciona directamente a los agregados antes de mezclar con el cemento asfáltico. Se lleva a cabo estableciendo un porcentaje de caucho a sustituir en la cantidad de agregado fino, según estudios realizados el valor de este porcentaje a sustituir esta entre 1 y 3 % del peso total de los agregados de la mezcla preparada.

Existen varias tecnologías establecidas para la adición de las partículas de caucho por vía seca en las mezclas asfálticas las cuales podemos mencionar. [4]

PlusRide

Las partículas de caucho son agregadas a la mezcla asfáltica en proporciones pequeñas y tamaños 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 altos que están entre 7.5 a 9 %. [4]

Genérica o sistema Tak

Se utiliza partículas de caucho con granulometrías semejantes al agregado grueso y al agregado fino para emparejar la granulometría de la mezcla de esta forma se mejora la misma, además de mejorar la granulometría es que la parte fina de las partículas de caucho interactúa directamente con el cemento asfáltico y la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica. Se debe tener cuidado en no sobrepasar el 2 % de partículas de caucho del peso total de la mezcla para capa de rodadura. [4]

Convencional

Fue desarrollada en España utilizando granulometrías ajustables a la norma y no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que en ellas la cantidad de caucho está limitada a un 2% del peso total de la mezcla. Existen muchos kilómetros de carreteras donde se ha usado este tipo de mezcla en cual se han hecho estudios dinámicos y probados en laboratorio [4]

Proceso por Vía húmeda

En este proceso el caucho actúa modificando el ligante o cementante, lo complica el uso es que esta modificación se debe realizar en las refinerías donde se produce el cemento asfáltico o realizar modificaciones en las plantas asfálticas normales tipo bacheo o continuas para producir el ligante modificado. Esta modificación debe ser controlada pues puede generar problemas más adelante a la mezcla asfáltica.

Luego de obtener el ligante modificado (asfalto- caucho), se mezcla con los agregados ya sea por bacheo o por tipo continua. [4]

Para el desarrollo de la presente investigación utilizaremos el caucho triturado vulcanizado proveniente de la empresa Proneumacosa S.A ubicada en la ciudad de Latacunga.

1.1.3.7. Concreto Asfáltico

Al igual que el concreto de cemento portland el concreto asfáltico resulta de la unión de agregados minerales. Se preparan en planta y existen de dos tipos: mezcla asfáltica en caliente y en frío, la diferencia se encuentra en que el cemento asfáltico es la mezcla directa a los agregados y en mezcla fría este se debe preparar. [13]

El cemento asfáltico puede encontrarse de forma diluida o venir en emulsiones de esta manera se prepara el concreto asfáltico en frío. Se puede mezcla, llevar al sitio de la obra y extender a temperatura ambiente sin complicaciones.

1.1.3.8. Método Marshall

El método se determina en tres etapas que incluyen preparación, compresión y ruptura de las muestras, lo cual nos permite determinar los valores de vacíos en la mezcla [18]. Sin embargo, Yu y otros, mencionan que la estabilidad de Marshall es un indicador del rendimiento de la mezcla a alta temperatura [19].

La metodología Marshall, ASTM D1559, permite controlar y garantizar las proporciones volumétricas de la mezcla [20]. De igual manera, esta metodología permite obtener la Gravedad Específica Bulk, contenido de vacíos, estabilidad y flujo, para luego determinar el contenido de asfalto o emulsión asfáltica óptimo para el diseño de las briquetas. Sin embargo, caracterizar los agregados pétreos que integran la mezcla asfáltica cumplen un papel importante en el diseño.

A partir de estas especificaciones se establecen granulometrías combinando agregados piedra triturada o piedra producto de la extracción en cantera y que deben cumplir ciertas características físicas y mecánicas expresadas en la norma MOP-001-F 2002, es importante recalcar que cada característica viene expresada en la norma ASSHTO o ASTM. [20]

Agregados tipo C: este tipo de agregados para hormigón asfáltico son los que provienen de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de cada región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 405-5.2 de estas especificaciones. Los agregados deben ser fragmentos limpios, resistentes y duros, sin materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables,

así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material que generen inconvenientes. Se utilizarán agregados completamente secos y de no poder cumplirse esto, se instalarán dos secadores en serie, de tal forma que cuando se termine la operación de mezclado, la humedad de los agregados no exceda de 1%. [21]

Tabla N°02.- 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 [22]

Además de los requisitos granulométricos y los referentes a su producción, indicados con anterioridad, los agregados deben cumplir con las siguientes exigencias: Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión, según la norma INEN 860. [21]

La porción de los agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm. (N° 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las Normas INEN 691 y 692. El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio, en la prueba de durabilidad, como lo dispone la Norma INEN 863, salvo que las especificaciones especiales muestren excepciones.

Los agregados deberán poseer características tales que, al ser impregnados con material bituminoso a más de un 95% permanezca impregnando las partículas, después

de realizado el ensayo de resistencia a la peladura, según Norma AASHTO T 182. El relleno mineral deberá cumplir con los requisitos especificados en la Norma AASHTO Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm. debe tener cierta angularidad. El 85% de agregado grueso deberá tener por lo menos una cara 800 - Materiales VIII-83 fracturada y el 80% del agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas, según Norma ASTM D5821.

La angularidad de los agregados finos es determinada como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados pasantes el tamiz INEN 2.36 mm. El valor mínimo requerido es de 45% según Norma ASTM C1252.

El equivalente de arena se realiza en los agregados pasantes el tamiz INEN 4.75 mm. Norma AASHTO T 176 (ASTM D2419). Los valores mínimos recomendados son los siguientes:

Tabla N° 03.- Valores de equivalente de arena en los agregados de una muestra

	Equivalente de arena	
	Tráfico mediano y liviano	Tráfico pesado
Base	35	40
Capa de Rodadura	45	50

Fuente: Norma AASHTO 176

Equivalente de Arena Tráfico Liviano y Mediano Tráfico Pesado Base 35 40 Capa de Rodadura 45 50 El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no debe ser mayor de un 10% según la Norma ASTM D4791. El diseño de Marshall para mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica es recomendado para capas de rodadura de tráfico vehicular liviano. Estas mezclas son ejecutadas para mezclas in situ a temperaturas ambientales [23]. La Norma MOP-001-F 2002, establece parámetros y límites para los resultados obtenidos de la Metodología Marshall. Esto nos permitirá determinar el contenido de emulsión asfáltica óptimo para el diseño [21]

Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

Para la selección del contenido óptimo de asfalto dependerá del criterio, el punto inicial para el diseño es escoger el 4% de vacíos en el aire el cual es el promedio de los límites. Las siguientes propiedades serán medidas y calculas bajo este criterio y comparados con los criterios de Marshall, se muestra la tabla de criterios a continuación:

Tabla N° 04. Criterios 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

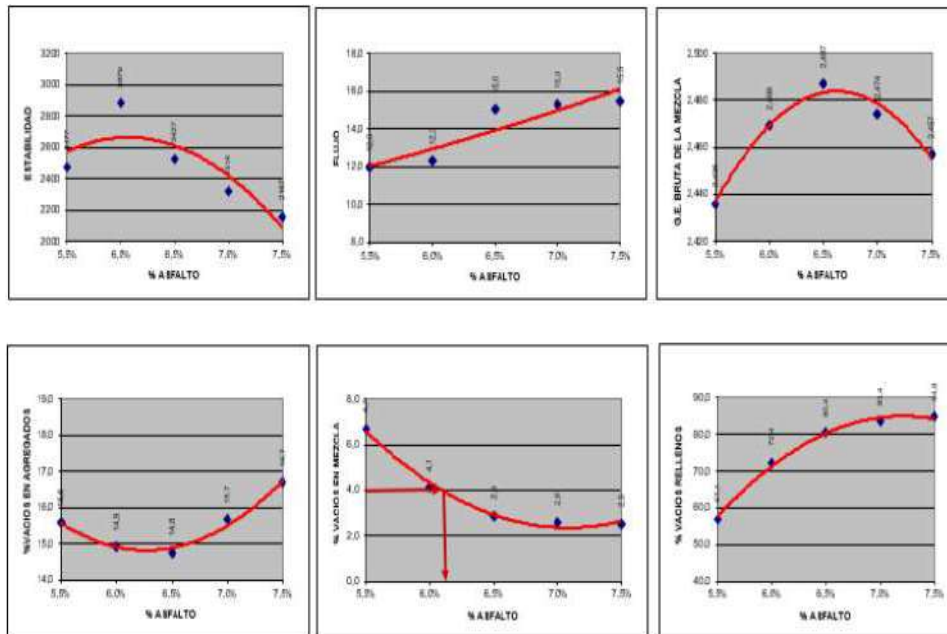
Fuente. Tabla 405-5.2. NORMA MOP 001F-2002

Para establecer el porcentaje de asfalto óptimo en una mezcla asfáltica en frío utilizando el método Marshall es muy importante conseguir cada una de las curvas variando la cantidad de asfalto o porcentaje de este [24]

- Peso específico vs. % emulsión Asfáltico
- % de vacíos de mezcla vs. % emulsión Asfáltico
- estabilidad vs. % emulsión Asfáltico
- % de vacíos con asfalto vs. % emulsión Asfáltico
- Fluencia vs. % emulsión Asfáltico
- VAM vs. % emulsión Asfáltico.

Para determinar el contenido de asfalto óptimo se lo realizará en el laboratorio y posteriormente se controlará en obra. Se fabrican grupos de tres briquetas de diferentes porcentajes correspondientes a asfalto, de estos grupos se debe obtener un promedio de parámetros volumétricos mencionados anteriormente, las curvas obtenidas deben ser como se muestra de ejemplo a continuación:

Gráfico N° 05.- Ejemplo de análisis de Marshall



Fuente: Trabajo de titulación. Ayala, K & Heredia J.

En cada curva se observa que a medida que el porcentaje de asfalto aumenta en la curva de % de vacíos den la mezcla decrece, mientras que en la estabilidad mientras el porcentaje sube la estabilidad también aumenta lo que puede producir ahuellamientos y ondulaciones en la capa de rodadura trayendo consecuencias perjudiciales para el pavimento y para los usuarios de una vía. [24]

Evaluación y ajuste de una mezcla diseñada

Al desarrollar condiciones de diseño, a menudo es necesario realizar varias muestras para encontrar la combinación que cumpla con los criterios de diseño. Cada mezcla de prueba sirve como guía para evaluar y ajustar las pruebas posteriores. Para el desarrollo

de una mezcla preliminar es recomendable comenzar con una graduación que se generalmente cercana a los límites establecidos. Las mezclas iniciales se usan como fórmula de trabajo. Si las mezclas de prueba original no cumplen con los criterios de diseño, será necesario la modificación o el rediseño de la muestra, la manera más sencilla es modificar la graduación de los agregados ajustando sus porcentajes. Se pueden aplicar lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos. [24]

1.1.3.9 Diseño de Pavimentos Flexibles

Para realizar un diseño de pavimento flexible existen varios métodos, pero para cualquiera de los casos estos deberán estar encontrarse establecidos por los principios de la ASSTHO.

Encontramos entre los métodos una clasificación:

Método teórico: desarrollado en base a la mecánica de suelos

Método semi empírico: aquel donde interviene los ensayos en laboratorios y el criterio de las especificaciones por experiencia.

Método empírico: se basa únicamente en la observación y experiencia adquirida.

Método del CBR según el instituto del asfalto: este método es más utilizado en nuestro país obteniendo buenos resultados por ser el CBR un ensayo que determina la resistencia del suelo. [32]

1.1.3.9.1 Método AASTHO 93 para pavimentos flexibles.

Para lo cual se desarrollará mediante la utilización de la ecuación básica propuesta por la AASTHO, para identificar el numero estructural SN.

Gráfico N° 6.- Ecuación general para el diseño por el método AASTHO 93

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Ec. 1.1

Fuente: INGENIERÍA DE PAVIMENTOS (CD) Ing. Milton Torres Espinoza

Parámetros de diseño

1. Estudio de tránsito

Es la variable más importante para el diseño de una vía, el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en el diseño geométrico, el TPDA requiere ser expresado en termino de ejes equivalentes acumulado para el periodo de diseño [32]

Determinación del tránsito existente

Para lo cual requiere como mínimo el tránsito promedio semanal TPDS, el conteo se debe realizar al menos por siete días, serán volumétricos y clasificados por el tipo de vehículos, el número, peso y tipo de los ejes de los vehículos para determinar los ejes equivalentes. [32]

2. Confiabilidad

Se denomina R, es la probabilidad que la estructura tenga un comportamiento real, tratando de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño.

Los niveles sugeridos de acuerdo con la clasificación son:

Gráfico N° 7.- Niveles de confiabilidad

* NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL:	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS
Carretera Interestatal o Autopista.	80 - 99.9
Red Principal o Federal.	75 - 95
Red Secundaria o Estatal.	75 - 95
Red Rural o Local.	50 - 80

Fuente: Ingeniería de pavimentos.

Los parámetros Z_r , correspondientes a niveles de confiabilidad son:

Gráfico N° 8. Niveles de confiabilidad (Z_r)

R	ZR
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
96.5	-1.816
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Ingeniería de pavimentos.

3. Desviación estándar global (S_o)

Se encuentra ligado directamente con la confiabilidad, la AASTHO para pavimentos flexibles propone los siguientes valores 0.40 – 0.50, se recomienda usar 0.45. [32]

4. Serviciabilidad

Es la condición del pavimento que provee un manejo seguro y confortable para los usuarios. Va del rango 0 es decir que es intransitable a 5 que es de excelente calidad, se recomienda un índice inicial de 4.2 para pavimentos flexibles, y un índice de servicio terminal 2.5 a 3 para caminos principales y 2.0 para secundarios. [32]

5. Módulo de resiliencia

La AASTHO propone el uso de la correlación con el CBR mediante esta configuración.

$$Mr (\text{psi}) = 1500 \text{ CBR}; \text{ CBR} < 7.2\%$$

$$Mr (\text{psi}) = 3000 \text{ CBR}^{0.65} \text{ } 7.2\% < \text{ CBR} < 20\%$$

$$Mr (\text{psi}) = 4.326 \ln \text{ CBR} + 241 \text{ (para suelos granulares) (Psi} = 0.0069 \text{ MPa). [32]}$$

1.1.3.10. Fundamento Legal

Para el desarrollo de esta investigación nos apoyaremos con la aplicación de las siguientes normas:

- Norma Técnica Ecuatoriana (INEN, 2013), establece los requisitos y métodos de ensayo para mezclas asfalto caucho, en la industria de la construcción.
- Norma Técnica Ecuatoriana (INEN, 1987), establece las dimensiones nominales de las aberturas de las mallas de alambre para los tamices
- Norma Técnica Ecuatoriana (INEN, 2011), establece los requerimientos para conformar la mezcla.
- ASTM D 1559-89, Diseño de Mezclas Método Marshall.
- Normas ASSTHO
- ASTM C 136 – 01. Método de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.

1.1.4. Hipótesis

La mezcla asfáltica en frío adicionando caucho vulcanizado que cumpla las exigencias de las normas

Variable Independiente

La mezcla asfáltica en frío diseñada adicionando caucho vulcanizado.

Variable Dependiente

Características y propiedades mecánicas exigidas en la norma

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivos General

Evaluar el efecto de la adición de caucho vulcanizado triturado en mezclas asfálticas en frío

1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica y la adición de caucho vulcanizado triturado en porcentajes del 0, 3, 6, 9, 12, 15 % en peso de la mezcla.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos en las probetas ensayadas, adicionadas y sin adicionar con caucho vulcanizado triturado mediante el método Marshall.
- Determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica con la adición de caucho vulcanizado triturado y su efecto en la estabilidad, flujo y vacíos de aire en la mezcla asfáltica en frío.
- Comparar los espesores obtenidos de las capas de 2 estructuras de pavimentos flexibles compuestas tanto de base granular como de base asfáltica en frío con caucho vulcanizado triturado.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGIA

2.1 Descripción de la Metodología

Luego de haber establecido los fundamentos teóricos sobre la utilización de caucho vulcanizado triturado como agregado en una mezcla asfáltica en frío con emulsiones asfálticas, y que existen estudios que establecen que se pueden conseguir mediante una investigación bien estructurada resultados probables o cercanos podemos desarrollar la hipótesis planteada en la presente investigación.

Para una buena estructuración de la investigación se apoyó en las Normas ASTM y ASSHTO, de esta manera todos los pasos establecidos van en forma sucesivamente y tomando en cuenta los valores que la misma investigación arroje. Cada dato arrojado es tomado en cuenta para la siguiente parte de la investigación.

El presente tema es de carácter investigativo teórico – práctico, para lo cual se requiere de materiales como internet, normas, libros, artículos científicos, programas de presentación y tabulación, así como el uso de laboratorios de mecánica de suelo y de información técnica sobre el tema de investigación.

2.2 Tipo de Investigación

Para el desarrollo del tema se realizará investigación de campo al tomar las muestras in situ, investigación bibliográfica de distintas fuentes de investigación referente al tema que permita el correcto desarrollo de este e investigación experimental que se analizará en los laboratorios

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA. La investigación se debe apoyar en la investigación bibliográfica pues para sustentar cada uno de los ítems planteados en la misma se debe realizar una revisión de libros, revistas, folletos, entre otros.

INVESTIGACIÓN DE CAMPO. Se debe recabar información de sitios donde se encuentran los materiales y equipos necesarios para la realización del diseño de la mezcla asfáltica. De esta manera se está buscando información real de las condiciones del sitio y sus características.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL La investigación experimental es la parte esencial para realizar los ensayos en los laboratorios utilizando la metodología Marshall, donde se fabricarán briquetas para cada metodología para buscar las características físicas de la mezcla asfáltica en frío con el uso de diferentes porcentajes adicionando el caucho al agregado y en consecuencia lograr un porcentaje óptimo para la mezcla planteada. Para este proceso se contará con equipo adecuado para que la dosificación correcta

2.3 Población / Muestra

Para efectos de la presente investigación esta se considerará un estudio de caso único donde la población es igual a la muestra. Por otra parte debido a que la investigación es experimental, donde el método Marshall establece su población y muestreo. Entonces mi población y muestra con la que se va a experimentar está conformada por 90 briquetas de asfalto, siendo 15 de éstas de asfalto común y 15 con adición de caucho vulcanizado triturado en distintos porcentajes.

Tabla N° 05. Población y muestra en los ensayos de laboratorio Método Marshall

Adición de caucho vulcanizado triturado en mezclas asfálticas en frío (Método Marshall)			
# de Muestras	% de emulsión asfáltica	Mezcla patrón sin utilización de caucho	
		Agregado grueso	Agregado fino
3	Pb estimado	Calculo norma	Calculo norma
3	Pb estimado	Calculo norma	Calculo norma
3	Pb estimado	Calculo norma	Calculo norma
3	Pb estimado	Calculo norma	Calculo norma
3	Pb estimado	Calculo norma	Calculo norma
Adición de caucho en 3%			
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho

3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
Adición de caucho en 6%			
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+% aucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
Adición de caucho en 9%			
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
Adición de caucho en 12%			
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
Adición de caucho en 15%			
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho
3	Pb optimo	Constante M patrón	Agreg..+%caucho

Fuente: Autor

2.4 Materiales y Equipos

Tabla N° 06.- Materiales y equipos

Instituciones	Materiales	Equipos
Laboratorio de Mecánica de suelos de la FICM	Agregados gruesos	- Tamices Para determinar tamaño de partículas - Equipo para determinar equivalente de arena - Matraz volumétrico para determinar Peso específico de agregados - Equipo método Marshall
LDMS Cía. Ltda	Agregados finos	
	Emulsión asfáltica	
	Caucho vulcanizado triturado	

Fuente: Autor

2.5 Plan de Recolección de Datos

Tabla N° 07. Plan de recolección de datos

Preguntas Básicas	Explicación de las interrogantes
1. ¿Para qué?	Determinar el porcentaje óptimo de caucho vulcanizado triturado y su efecto en la estabilidad, flujo y vacíos de aire en la mezcla asfáltica en frío
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?	Quimbíta Loma Estefanía Gabriel

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 LDMS laboratorio de Mecánica de Suelos Cia. Ltda
6. ¿Cómo?	Mediante Pruebas y ensayos de laboratorio establecidos en las normas ASTM y AASHTO

Fuente: Autor

2.6. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Procesamiento de la Información

- Se revisará y clasificará la información recolectada en la parte bibliográfica como en la fase de laboratorio.
- Se tabulará datos obtenidos de acuerdo con las variables de la hipótesis y manejo de información.
- Para el caso Marshall realizaremos las correspondientes gráficas.

Análisis de la información

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

2.7. Ensayos realizados

El material pétreo tanto grueso como fino fueron obtenidos de la Cantera Herrera ubicada en la ciudad de Latacunga cantón Saquisilí.

Gráfico N° 09.- Minas de la Cantera Herrera



Fuente: Autor

Análisis granulométricos

Granulometría de los agregados

Para realizar en ensayo de granulometría de los agregados de 3/4, 1/2 y finos no basaremos en las limites mostrados en la siguiente grafica.

Gráfico N° 10.- Granulometría de los agregados

TABLE 1 Composition of Bituminous Paving Mixtures

Sieve Size	Dense Mixtures								
	D-1	D-2	D-3	D-4	Mix Designation		D-7	D-8	D-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	D-5 12.5 mm (½ in.)	D-6 9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4) (Sand Asphalt)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Sheet Asphalt)
Grading of Total Aggregate (Coarse Plus Fine, Plus Filler if Required) Amounts Finer Than Each Laboratory Sieve (Square Opening), Weight %									
63-mm (2½ in.)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
50-mm (2 in.)	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...	...
37.5-mm (1½ in.)	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...
25.0-mm (1 in.)	60 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...
19.0-mm (¾ in.)	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...
12.5-mm (½ in.)	35 to 65	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...
9.5-mm (¾ in.)	...	...	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...
4.75-mm (No. 4)	17 to 47	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85	80 to 100	...	100
2.36-mm (No. 8) ^A	10 to 36	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67	65 to 100	...	95 to 100
1.18-mm (No. 16)	...	...	...	...	...	...	40 to 80	...	85 to 100
600-µm (No. 30)	...	...	...	...	...	...	25 to 65	...	70 to 95
300-µm (No. 50)	3 to 15	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23	7 to 40	...	45 to 75
150-µm (No. 100)	...	...	...	...	...	...	3 to 20	...	20 to 40
75-µm (No. 200) ^B	0 to 5	0 to 6	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10	2 to 10	...	9 to 20

Fuente. ASTM C 136 – 01. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates” Método de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.

OBJETIVO

Determinar el tamaño de las partículas del agregado por separado ($3/4''$, $1/2''$ y fino.) y para la muestra, representar de forma gráfica los resultados.

MATERIAL Y EQUIPO.

MATERIALES

Agregado $3/4$, $1/2$ y fino

EQUIPO

- Balanza electrónica. Capacidad de 1Kg y 0.1g de precisión.
- Juego de mallas o tamices $3/4''$, $1/2''$ $3/8''$ No 4, 8 , 50, y 200, fondo y tapa.
- Bandejas metálicas.
- Brocha de cerda y cepillo de alambre.
- Tamizador mecánico
- Brocha pequeña.
- Horno
- Agente humectante

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO

Material Fino

- Obtener una muestra seca de arena, utilizando el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas.
- Pesar 837 g de agregado fino.
- Se utiliza los siguientes tamices $3/4''$, $1/2''$ $3/8''$ No 4, 8, 50, y 200, fuente y se procede a colocarlos en el tamizador mecánico, por un tiempo de 10 minutos, se lo uede realizar también de forma manual
- Retiramos los tamices del tamizador mecánico y procedemos a pesar el retenido en cada tamiz.
- Tabulamos los datos en la tabla de resultados. [26]

Gráfico N° 11. Ensayo granulométrico de los agregados.



Fuente: Autor

Nota: se realiza el mismo procedimiento para el agregado $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ al igual que la mezcla propuesta.

Gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM D-127)

ASTM D 127 – 01. Método de ensayo estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso

El ensayo tiene como finalidad obtención de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.

MATERIAL Y EQUIPO:

Equipo.

- a. Balanza, para determinar la masa, que sea sensitiva, legible y precisa a 0.05%
- b. Contenedor de muestra, una cesta de alambre de 3.35 mm (N° 6) o malla fina, de abertura y altura iguales, con una capacidad de 4 a 7 litros para alojar un tamaño nominal máximo de agregado de 37.5 mm (1 ½”) o menor, para ensayar mayores tamaños máximos de agregados se utiliza una canastilla mayor. La canastilla será construida de tal forma que se evite atrapar aire cuando sea sumergida.
- c. Tanque de agua, en el cual la canastilla es colocada suspendida debajo de la balanza.
- d. Tamices o mallas, una malla de 4.75 mm (N° 4) u otro tamaño como se necesite conforme a la especificación E 11.

- e. Horno
- f. Cuchara de albañilería.
- g. Cucharón.
- h. Brocha.
- i. Bandejas metálicas.

Materiales.

- a. Grava sumergida en agua por espacio de 24 horas.
- b. Franela o cualquier tela absorbente

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

1. Obtenemos de una muestra significativa aproximadamente como mínimo 1kg, la secamos previamente en el horno y procedemos a sumergir el agregado por 24 horas.

La masa mínima de la muestra de ensayo a ser usada se presenta en la tabla a continuación:

Tabla N°08.- Pesos de la muestra según tamaño del agregado.

Tamaño máximo nominal		Masa mínima de la muestra de prueba	
Pulg	mm	kg	Lb
½	12,5	2	4,4
¾	19,0	3	6,6
1	25,0	4	8,8
1 ½	37,5	5	11,0
2	50	8	18,0
2 ½	63	12	26,0
3	75	18	40,0
3 ½	90	25	55,0
4	100	40	88,0

Fuente: Norma ASTM D 127, volumen 02.04

2. Removemos la muestra de ensayo del agua y enróllela en un paño o franela absorbente hasta que toda la película visible de agua sea removida. De ser

necesario secar las partículas grandes individualmente. Se puede apoyar de una corriente de aire para el secado. Tomar precaución y evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial.

3. Determinamos la masa de la muestra de ensayo en la condición saturada superficialmente seca y la registramos.
4. Después de determinar la masa al aire, colocamos inmediatamente la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de la muestra y determine su masa aparente en agua a 23.0 ± 2.0 °C Tener cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido. La diferencia entre la masa al aire y la masa cuando la muestra es sumergida en agua es igual a la masa de agua desplazada por la muestra. El contenedor debe ser sumergido a una profundidad suficiente para cubrirlo.
5. Secamos la muestra de ensayo a masa constante a una temperatura de 110 °C, enfriar al aire a temperatura del cuarto durante 1 a 3 horas, o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea comfortable de manejar (aproximadamente 50 °C), y determine la masa.
6. Realizamos los cálculos correspondientes con las siguientes fórmulas de gravedad específica y de absorción.

✓ Gravedad Específica Seca Bulk.

$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$

Ec.2.1

✓ Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.

$$Gssb = \frac{B}{B - C}$$

Ec.2.2

✓ Gravedad Específica Seca Aparente.

$$Gsa = \frac{A}{A - C}$$

Ec. 2.3

✓ Porcentaje de Absorción.

$$\%Abs = \frac{B - A}{A * 100}$$

Ec. 2.4

Donde:

A= Peso en el Aire del Agregado Secado al Horno.

B= Peso en el Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.

C= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido

Gráfico N° 12. Ensayo para determinar Gravedad específica en el agregado grueso



Fuente: Autor

Gravedad específica y Absorción del Agregado Fino (ASTM D 128)

El ensayo tiene como finalidad obtención de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.

Equipos y materiales

Equipo:

- Balanza con precisión de 0.01 gramos.
- Tamiz N°4.
- Picnómetro.

Material

- Agregado fino.

Procedimiento:

- Por cuarteo seleccionamos una cantidad aproximada de 1000 gramos, la cual fue previamente secada en el horno a 100 ± 5 °C, una vez fría se pesa, posteriormente cubrimos completamente la muestra con agua durante 24 horas.
- Retiramos cuidadosamente el agregado del agua, evitando la pérdida de finos, se procede a extender la mezcla sobre una bandeja, la colocamos al sol para que se evapore el agua y lograr la superficie saturada seca.
- realizamos la prueba de Humedad Superficial para lo cual hacemos uso de un molde cónico metálico, colocando una porción de agregado fino suelto parcialmente secado en el molde llenándolo hasta desbordar y amontonar el material adicional en lo alto del molde sosteniéndolo con la copa con los dedos de la mano, compactar ligeramente 25 veces con el pisón de metal haciéndolo caer desde una altura de 5 milímetros sobre la superficie superior del agregado fino, removemos la arena suelta desde la base y levantamos el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía está presente, el agregado fino retendrá la forma del molde.
- Procedemos a llenar parcialmente el picnómetro con agua e introducimos 500 ± 10 gramos de agregado fino superficialmente seco, añadir agua adicional hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad de ser necesario, eliminamos el aire atrapado del picnómetro agitando el picnómetro de forma manual o mecánicamente. Eliminando burbujas de aire.
- Luego de eliminar las burbujas de aire, se debe ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a 23.0 ± 2.0 °C con un termómetro medimos su temperatura.
- Removemos el agregado fino del picnómetro, y determinar su masa
- Para la determinación de la absorción, utilizamos una proporción separada de 500 ± 10 gramos de agregado fino saturado superficialmente seco, secamos y determinamos su masa.

Las siguientes formulas nos ayudaran para realizar los respectivos cálculos:

✓ Gravedad Específica Seca Bulk.

$$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$$

Ec. 2.5

✓ Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.

$$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

Ec. 2.6

✓ Gravedad Específica Seca Aparente

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Ec. 2.7

✓ Porcentaje de Absorción.

$$\%Abs = \frac{D - A}{A} * 100$$

Ec 2.8

Donde:

A= Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.

B= Peso del Picnómetro lleno de Agua.

C= Peso del Picnómetro Calibrado con el Agregado y Agua hasta la marca.

D= Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente seco [23].

Gráfico N° 13. Ensayo para determinación de gravedad específica en agregado fino



Fuente: Autor

2.8 Métodos a utilizar

Los pasos que involucran la metodología que se llevará a cabo para desarrollar la presente investigación será la siguiente:

Revisión bibliográfica: en esta etapa se procederá a revisar toda la bibliografía que de sustento a la investigación. Libro de texto, revistas, folletos, entre otros

Establecer los materiales a utilizar: se procede a establecer los materiales que se dispone en la región para establecer los que se pueden utilizar en la investigación (agregados, emulsión, caucho vulcanizado triturado)

Diseño preliminar: usando el Método Marshall se procederá a determinar el porcentaje óptimo de asfalto para el diseño y que nos refleje las características físicas de la mezcla en frío, en esta fase se realizan las primeras briquetas.

Para la determinación del Porcentaje óptimo de adición de caucho vulcanizado triturado: al establecer la mezcla de control por medio de los métodos Marshall se procederá a la adición de caucho triturado en porcentajes ya establecidos 0, 3, 6, 9, 12, 15%. Este porcentaje óptimo se verá reflejado al comparar los valores de estabilidad, flujo, % vacíos para cada porcentaje de adición de caucho triturado.

Diseño de 2 pavimentos flexibles compuestos tanto de base granular como de base asfáltica: luego de establecer cuál de las mezclas estará en los rangos más cercanos o iguales a la mezcla patrón, se procederá a realizar el cálculo de dos pavimentos flexibles utilizando la mezcla establecida.

2.8.1. Mezcla de agregados

Para fabricar carpetas asfálticas es fundamental la selección de la granulometría de los agregados con la finalidad de conseguir una capa de buena calidad, para realizar para lo cual se utilizará del agregado $\frac{3}{4}$ " el 12.5% en peso, del agregado $\frac{1}{2}$ " el 37.5% en peso y para el agregado fino será el 50% en peso, para la realización de las briquetas.

2.8.2 Elaboración de briquetas

Las briquetas tienen un peso de 1200gr cada una que absorbe distinto porcentaje de emulsión asfáltica. Estas fueron fabricadas en LDMS laboratorio de Mecánica de Suelos Cia. Ltda, tenemos 5 porcentajes distintos de emulsión asfáltica para lo cual se realizará 3 briquetas por cada de acuerdo con el método empleado de igual manera para los porcentajes de caucho.

Equipos

- Dispositivo para moldar probetas
- Martillo compactador con zapata circular(10lb)
- Pedestal de compactación
- Soportes para moldes
- Moldes de Marshall
- Maquina Marshall
- Balanza eléctrica de precisión ± 0.01 gr
- Bandejas metálicas
- Espátulas
- Cucharones
- Guantes de cuero
- Extractor de probeta
- Franelas

Materiales

- Agua
- Emulsión asfáltica
- Caucho triturado vulcanizado
- Agregados pétreos

PROCEDIMIENTO

- Pesamos cada uno de los materiales de acuerdo con nuestra dosificación

Gráfico N° 14. Pesaje de los materiales



Fuente: Autor

- Colocamos nuestros agregados en una bandeja y los mezclamos hasta tener una mezcla uniforme, preparamos la emulsión asfáltica con un agregado del 10% de agua y los vertimos sobre la mezcla

Gráfico N° 15.-Preparación de la mezcla.



Fuente: Autor

- Vertimos la mezcla en los moldes para proceder a compactar con el martillo Marshall, se compactarán con 75 golpes por cada cara considerando que es una mezcla para tráfico pesado.

Gráfico N° 16. Colocación de la mezcla en los moldes



Fuente: Autor

- Dejamos las briquetas el molde para al siguiente día proceder a extraerlo.

Gráfico N° 17. Briquetas terminadas.



Fuente: Autor

2.8.3. Cálculo método Marshall.

En el método de Marshall los cálculos son necesarios para determinar el comportamiento de la mezcla en función al contenido de asfalto y obtener el contenido óptimo para la mezcla realizada. A continuación, se anuncian los cálculos a realizar para el método mencionada con sus respectivas formula.

2.8.3.1 Gravedad específica Bulk agregados.

Se las obtiene mediante ensayo en laboratorio de cada agregado. Para el cálculo se utilizará la siguiente formula:

Gravedad específica Bulk (Gsb)

$$Gsb = \frac{100}{\frac{Agr1}{(P1 \cdot Gsb) + (R1 \cdot Gsb1)} + \frac{Agr2}{(P2 \cdot Gsb2) + (R2 \cdot Gsb2)} + \dots + \frac{Agrn}{(Pn \cdot Gsbn) + (Rn \cdot Gsbn)}}$$

Ec. 2.9

Donde:

Agr1, Agr2, Agrn= Porcentaje de cada agregado en la mezcla.

P1, P2, Pn= Porcentajes que pasa la malla N°4 de cada agregado.

R1, R2, Rn= Porcentajes que retiene la malla N°4 de cada agregado.

Gsb1, Gsb2, Gsbn= Gravedades Específicas Bulk de cada agregado.

Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

Consiste en introducir las probetas a baño de agua tomando previamente su peso en seco, se procede a secar superficialmente y pesarlas. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Gravedad\ específica\ Bulk = \frac{A}{B - C}$$

Ec. 2.10

Donde:

A= Masa de la probeta seca en el aire.

B= Masa en el aire de probeta saturada superficialmente.

C= Masa de la probeta en agua.

2.8.3.2 Porcentaje de Vacíos (Va)

Consiste en pequeños espacios de aire entre las partículas del agregado en la mezcla asfáltica.

$$Va = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb} - Ps}{G_{sb}} \right)$$

Ec. 2.11

Donde:

Gmb= Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada.

Ps= Porcentaje del agregado en la briqueta.

Gsb= Gravedad Específica Bulk de los agregados.

2.8.3.3 Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)

Se calcula a partir de la gravedad específica de la briqueta, la gravedad bulk de los agregados y el porcentaje de asfalto

$$VAM = 100 * \left(\frac{G_{mb} * (100 - Pb)}{G_{sb}} \right)$$

Ec. 2.12

Donde:

G_{mb}= Densidad bulk de la mezcla asfáltica compactada.

P_b= Porcentaje del agregado en la briqueta.

G_{sb}= Gravedad Específica Bulk de los agregados.

2.8.3.4. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Son los vacíos en el agregado mineral llenados por el asfalto, se determina mediante la siguiente formula:

$$VFA = 100 * \left(\frac{VMA - V_a}{VMA} \right)$$

Ec 2.13

Donde:

VFA= Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA= Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

V_a= Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total

2.8.3.5. Determinación de Estabilidad y flujo

El valor de la estabilidad Marshall nos indica la resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación. El flujo muestra la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir el asentamiento, para la determinación su valor se ensayan tres briquetas mediante la prensa Marshall.

El procedimiento del ensayo es el siguiente:

1. Sumergir la muestra en baño maría durante 30 o 40 minutos a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ antes del ensayo.
2. Tomar cada briqueta del baño María y secar su superficie, para luego colocarla en la mordaza inferior acomodando la mordaza superior de tal forma que la briqueta quede centrada en el equipo de carga. Por ejemplo

Gráfico N° 18. Equipo Marshall



Fuente: Autor

3. Aplicar carga a la probeta a una deformación constante de 51mm (5") por minuto, hasta que la falla ocurra.
4. Definir al punto de falla como la lectura de carga máxima obtenida.
5. Registrar los valores de estabilidad y flujo en el punto máximo de rotura.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido de Humedad Agregado Grueso 3/4”

Tabla N° 09.- Resultados del ensayo de contenido de humedad agregado 3/4”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"		
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO 3/4		
ORIGEN:	Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi	
ENSAYADO POR:	Estefania Gabriela Quimbita Loma	
NORMA:	NTE INEN 862	
MUESTRA	M1	M2
Peso Recipiente(A)	23.79	24.29
Peso Recipiente + Suelo Natural (B)	156.94	138.66
Peso del suelo Natural (C=B-A)	133.15	114.37
Peso del recipiente + Muestra seca (D)	156.55	138.29
Peso muestra seca (E=D-A)	132.76	114
Peso del Agua(F=B-D)	0.39	0.37
Humedad (G=(F/C)*100)	0.29%	0.32%
Humedad promedio	0.31%	

Fuente: Gabriela Quimbita

3.2. Contenido de Humedad Agregado 1/2”


Tabla N° 10.- Resultados del ensayo de contenido de humedad agregado 1/2”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"		
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO 1/2		
ORIGEN: Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi		
ENSAYADO POR: Estefania Gabriela Quimbita Loma		
NORMA: NTE INEN 862		
MUESTRA	M1	M2
Peso Recipiente(A)	26.48	24.8
Peso Recipiente + Suelo Natural (B)	130.97	129.82
Peso del suelo Natural (C=B-A)	104.49	105.02
Peso del recipiente + Muestra seca (D)	130.49	129.31
Peso muestra seca (E=D-A)	104.01	104.51
Peso del Agua(F=B-D)	0.48	0.51
Humedad (G=(F/C) *100)	0.46%	0.49%
Humedad promedio	0.47%	

Fuente: Gabriela Quimbita

3.3. Contenido de Humedad Agregado Fino

Tabla N° 11.- Resultados de contenidos de humedad en agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO"		
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO		
ORIGEN:	Cantera "Herrera" Pujili- Cotopaxi	
ENSAYADO POR:	Estefanía Gabriela Quimbita Loma	
NORMA:	NTE INEN 862	
MUESTRA	M1	M2
Peso Recipiente(A)	30.95	30.77
Peso Recipiente + Suelo Natural (B)	173.62	166.04
Peso del suelo Natural (C=B-A)	142.67	135.27
Peso del recipiente + Muestra seca (D)	172.51	164.99
Peso muestra seca (E=D-A)	141.56	134.22
Peso del Agua(F=B-D)	1.11	1.05
Humedad (G=(F/C) *100)	0.78%	0.78%
Humedad promedio	0.78%	

Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: las tablas N° 11, 12, 13; determinan el contenido de humedad de los agregados que para la mezcla propuesta cumplen con los parámetros de la norma.

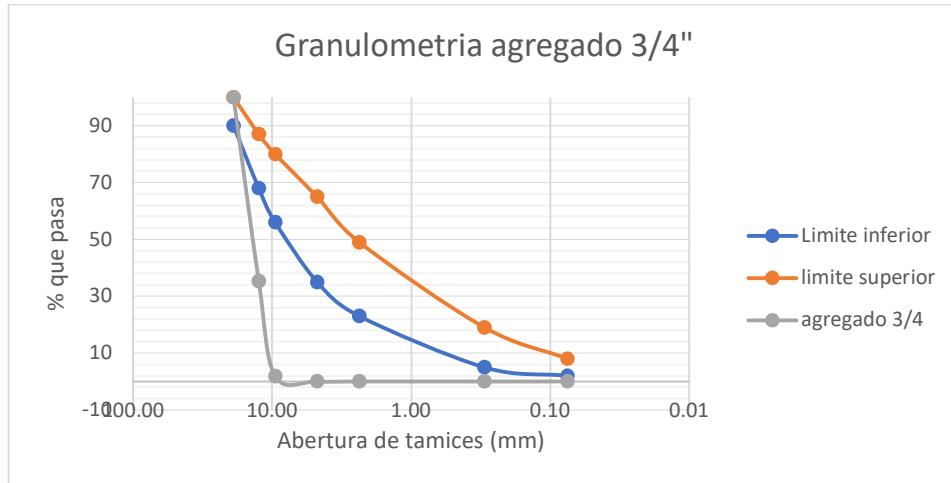
3.4. Granulometría Agregado 3/4"

Tabla N° 12.- Resultados granulometría agregado 3/4".

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 							
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"							
"ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO 3/4"							
ORIGEN		Cantera "Herrera" Pujilí - Cotopaxi					
PESO DE LA MUESTRA (gr)				837.87 gr			
ENSAYADO POR		Estefania Gabriela Quimbata Loma			FECHA		12/5/2022
NORMA: ASTM D3515- INEN 872							
TAMIZ	[mm]	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Limite ASTM% que Pasa	
3/4	19.00	0.00	0.00	0.00	100.0	90	100
1/2	12.50	542.27	542.27	64.73	35.3	-	-
3/8	9.50	279.94	822.21	98.15	1.9	56	80
N°4	4.75	15.51	837.72	100.00	0.0	35	65
N°8	2.36	0.00	837.72	100.00	0.0	23	49
N°50	0.30	0.00	837.72	100.00	0.0	5	19
N°200	0.08	0.00	837.72	100.00	0.0	2	8
FUENTE		0.00	837.72	100.00			

Fuente: Gabriela Quimbata

Gráfico N° 19.- Granulometría agregado 3/4"





Fuente: Autor

Interpretación: En la granulometría del agregado $\frac{3}{4}$ muestra que el porcentaje de material que pasa esta fuera del límite es decir que este material tiene deficiencia de finos.

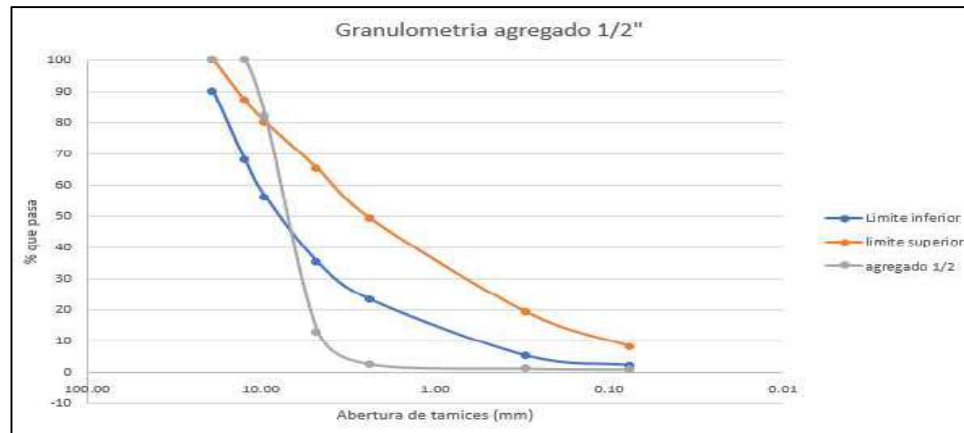
3.5. Granulometría Agregado 1/2"

Tabla N° 13. Resultados de la granulometría de 1/2"

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 							
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO"							
"ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO 1/2"							
ORIGEN		Cantera "Herrera" Pujilí - Cotopaxi					
PESO DE LA MUESTRA (gr)		820					
ENSAYADO POR		Estefania Gabriela Quimbita Loma			FECHA		12/5/2022
NORMA: ASTM D3515- INEN 872							
TAMIZ	[mm]	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	% Que Pasa	Limite ASTM% que Pasa	
3/4	19.00	0.00	0.00	0.00	100.0	90	100
1/2	12.50	1.48	1.48	0.18	99.8	-	-
3/8	9.50	148.31	149.79	18.32	81.7	56	80
N°4	4.75	563.47	713.26	87.22	12.8	35	65
N°8	2.36	85.12	798.38	97.63	2.4	23	49
N°50	0.30	11.35	809.73	99.01	1.0	5	19
N°200	0.08	2.40	812.13	99.31	0.7	2	8
FUENTE		5.67	817.80	100.00			

Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 20. – Granulometría agregado 1/2"



Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: el agregado 1/2" cumple con los rangos de especificación es decir que el agregado necesita complementarse con finos para que cumpla con los límites.

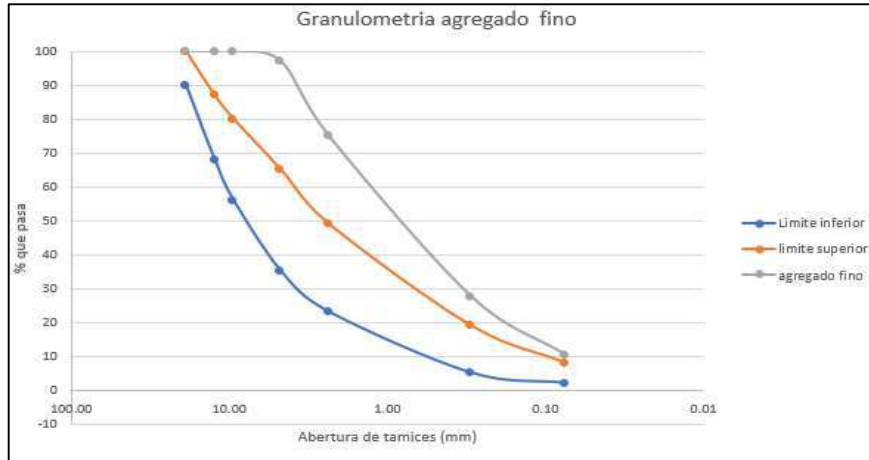
3.6. Granulometría Agregado Fino

Tabla N° 14.- granulometría agregado fino

Fuente: Gabriela Quimbita

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 							
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO"							
"ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO"							
ORIGEN	Cantera "Herrera" Pujilí - Cotopaxi						
PESO DE LA MUESTRA (gr)	497.61						
ENSAYADO POR	Estefania Gabriela Quimbita Loma				FECHA	12/5/2022	
NORMA: ASTM D3515- INEN 872							
TAMIZ	[mm]	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Acumulado	% Que Pasa	Limite ASTM% que Pasa	
3/4	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	56	80
N°4	4.75	15.16	15.16	3.06	96.94	35	65
N°8	2.36	109.28	124.44	25.14	74.86	23	49
N°50	0.30	234.02	358.46	72.41	27.59	5	19
N°200	0.08	85.36	443.82	89.65	10.35	2	8
FUENTE		51.23	495.05	100.00			

Gráfico N° 21.- granulometría agregado fino





Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretacion: para el agregado fino podemos observar en la gráfica que se encuentra fuera de los rangos superior e inferior, sin embargo, los agregados gruesos al tener ausencia de finos al combinar la mezcla se complementan.

2.2.3.2 Mezcla propuesta

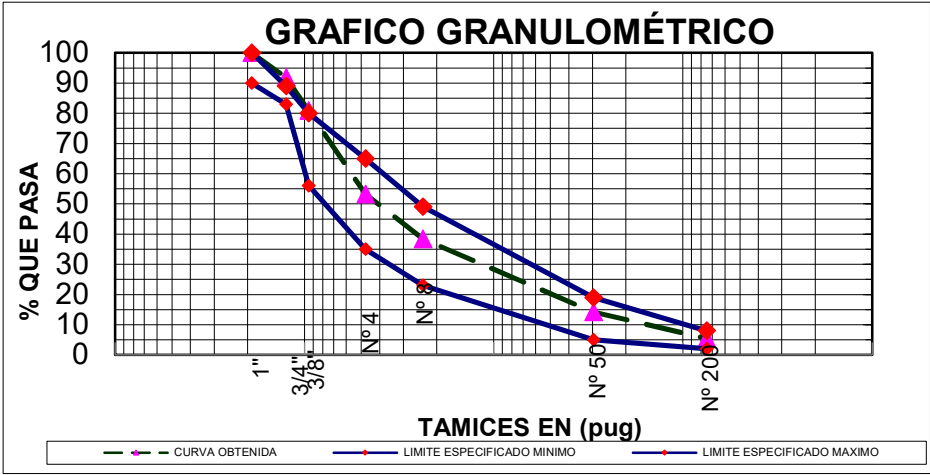
Tabla N° 15.- Mezcla Propuesta

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"								
FRACCIÓN	TAMICES							
	% USADO	3/4"	1/2	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 200
		25.00	19.00	9.50	4.75	2.36	0.30	0.075
AGREGADO GRUESO	12.50%	12.5	4.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
AGREGADO MEDIO	37.50%	37.5	37.4	30.6	4.8	0.9	0.4	0.3
AGREGADO FINO	50.00%	50.0	50.0	50.0	48.5	37.5	13.8	5.2
CURVA OBTENIDA		100.0	91.8	80.9	53.3	38.4	14.2	5.4
PROMEDIO ESPECIFICADO		95	86	68	50	36	4	4
ESPECIFICACIONES		90	83	56	35	23	5	2
		100	89	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS		±8%	±8%	±7%	±7%	±6%	±5%	±3%
FAJA DE TRABAJO		90	83	56	35	23	5	2
		100	89	80	65	49	19	8

Fuente: Gabriela Quimbata

Con los datos obtenidos de granulometría de los agregados combinados obtenemos la siguiente gráfica:

Gráfico N° 22.- Curva granulométrica de la mezcla



Fuente: Autor

Interpretación: la mezcla propuesta de los agregados nos muestra una curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites especificados por la norma para su diseño.

3.7. Gravedades Específicas y Absorción Agregado 3/4"



Tabla N° 16.- Resultados gravedades especificas agregado 3/4"

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"			
Gravedades Específicas y Absorción Agregado 3/4"			
ORIGEN:	Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi		
ENSAYADO POR:	Estefanía Gabriela Quimbita Loma		
NORMA:	NTE INEN 857		
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1079
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3493
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2451
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.997
B=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2256
C=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1372
VR=(B-C)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	886.66
Gssb=B/(B-C)	GRAVEDAD SSS BULK	gr/cm ³	2.55
<i>"Capacidad de Absorción del Agregado Grueso"</i>			
M7	Masa del recipiente	gr	264
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2617
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	2353
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	2483
A=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	2219
Gsb= A/(B- C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA BULK	gr/cm ³	2.51
Gsa= A/(A-C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA APARENTE	gr/cm ³	2.62
CA=((B-A)/A)*100	Capacidad de absorción	%	1.67

Fuente: Gabriela Quimbita

3.8. Gravedades Específicas y Absorción Agregado 1/2"



Tabla N° 17.- Resultados gravedades específicas del agregado ½"

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"			
Gravedades Específicas y Absorción Agregado 1/2"			
ORIGEN:	Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi		
ENSAYADO POR:	Estefania Gabriela Quimbita Loma		
NORMA:	NTE INEN 857		
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1237
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1047
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3255
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2252
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	0.997
B=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2018
C=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1205
VR=(B-C)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	815.45
Gssb=B/(B-C)	GRAVEDAD SSS BULK	gr/cm ³	2.48
<i>"Capacidad de Absorción del Agregado Grueso"</i>			
M7	Masa del recipiente	gr	292
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2382
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	2090
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	2254
A=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	1962
Gsb= A/(B- C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA BULK	gr/cm ³	2.41
Gsa= A/(A-C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA APARENTE	gr/cm ³	2.59
CA=((B-A)/A)*100	Capacidad de absorción	%	2.85

Fuente: Gabriela Quimbita

3.9 Gravedades Específicas y Absorción Agregado fino.



Tabla N° 18.- Resultados gravedad especifica agregado fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO"			
Gravedades Específicas y Absorción Agregado fino			
ORIGEN:	Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi		
ENSAYADO POR:	Estefania Gabriela Quimbita Loma		
NORMA:	NTE INEN 856		
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnometro	gr	171
M2	Masa del picnometro + agregado sss	gr	673
C	Masa del picnometro + agregado sss + agua	gr	969
M4=C-M2	masa del agua añadida	gr	296
B	Masa del picnometro + 250 cc de agua	gr/cm ³	671
M6=B-M1	Masa de 250 cc de agua	gr	500
DA=M6/250 cm ³	densidad del agua	gr	2
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por el agregado	cm ³	204
D= M2-M1	masa del agregado sss	gr/cm ³	502
Vsss=M7/DA	Volumen de agua deshalojada(Volumen de agregado añadido)	gr/cm ³	102.00
Gssb=D/(B+D-C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS BULK	gr/cm ³	2.5
"Capacidad de Absorción del Agregado fino"			
M7	Masa del recipiente	gr	110
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	611
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	501
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	601
A=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	491
Gsb= A/(B+D-C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA BULK	gr/cm ³	2.41
Gsa= A/(B+A-C)	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA APARENTE	gr/cm ³	2.54
CA=((D-A)/A)*100	Capacidad de absorción	%	2.24

Autor: Gabriela Quimbita

3.10 Gravedades específicas resumida de los agregados.

Tabla N° 19.- Resumen de gravedades de los agregados.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO"			
Resumen de Gravedades específicas de los agregados			
ORIGEN: Cantera "Herrera" Pujilí- Cotopaxi			
ENSAYADO POR: Estefania Gabriela Quimbita Loma			
AGREGADO	Gssb	Gsa	Gsb
3/4"	2.55	2.62	2.51
1/2"	2.48	2.59	2.41
FINO	2.46	2.54	2.41



Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: la tabla nos muestra las gravedades específicas de los agregados que nos ayuda para los cálculos del diseño de nuestras mezclas asfálticas

3.10 Diseño Marshall de la mezcla asfáltica

3.10.11. Determinación de RICE sin caucho vulcanizado (0%)

Tabla N° 20.- Resultados ensayo RICE al 0% de caucho

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"					
DETERMINACIÓN DE RICE 0% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%
A= Peso de la muestra	1661	1725.3	1623.2	1500	2000
D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua + muestra	6281.6	6365.6	6321.4	6272.5	6534.9
Densidad Rice gr/cc = $A/(A + D - E)$	2.275	2.286	2.330	2.410	2.325

Fuente: Gabriela Quimbita

3.10.12. Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall.

Tabla N° 21.- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall

Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

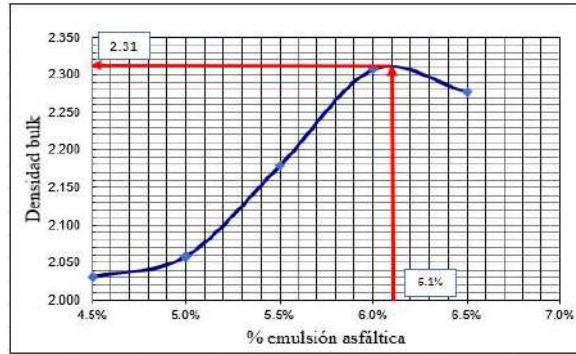
Gravedad específica del agregado: 2.449

Porcentaje de caucho: 0%

BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO
		CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pie3)	Vacios Agr. VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100''
1	4.5%	0.81	1189.6	1192.1	610.8	581.3	2.05								2338.0	1893.8	9.0
2		0.83	1218.0	1221.5	612.1	609.4	2.00								2335.0	1938.1	9.2
3		0.81	1198.7	1205.3	618.8	586.5	2.04								2340.0	1895.4	9.1
PROMEDIO							2.03	2.27	37.50	82.85	10.78	126.65	20.84	48.28		1909	9.1
1	5.0%	0.81	1242.3	1244.8	634.3	610.5	2.03								2397.0	1941.6	9.5
2		0.81	1289.7	1291.6	667.8	623.8	2.07								2433.0	1970.7	10.0
3		0.83	1198.2	1200.5	622.2	578.3	2.07								2411.0	2001.1	10.0
PROMEDIO							2.06	2.28	42.68	84.01	9.61	128.43	20.15	52.30		1971	9.8
1	5.5%	0.83	1286.4	1288.2	703.4	584.8	2.20								2615.0	2170.5	11.0
2		0.81	1312.5	1315.4	711.7	603.7	2.17								2898.0	2347.4	12.0
3		0.81	1278.0	1281.6	690.8	590.8	2.16								2915.0	2361.2	11.0
PROMEDIO							2.18	2.34	49.99	88.94	6.86	135.97	15.91	56.86		2293	11.3
1	6.0%	1.00	1189.9	1191.0	674.6	516.4	2.30								2566.0	2566.0	12.5
2		0.93	1242.6	1243.8	705.1	538.7	2.31								2767.0	2573.3	13.0
3		0.89	1283.1	1284.7	729.8	554.9	2.31								3012.0	2680.7	13.5
PROMEDIO							2.31	2.41	58.70	94.18	4.23	144.00	11.41	62.93		2607	13.0
1	6.5%	0.93	1225.6	1227.1	689.4	537.7	2.28								2566.0	2386.4	14.5
2		0.86	1278.4	1279.8	715.0	564.8	2.26								2831.0	2434.7	14.0
3		0.86	1305.9	1307.1	736.9	570.2	2.29								2615.0	2248.9	14.5
PROMEDIO							2.28	2.33	82.23	92.95	2.05	142.13	13.03	84.28		2357	14.3

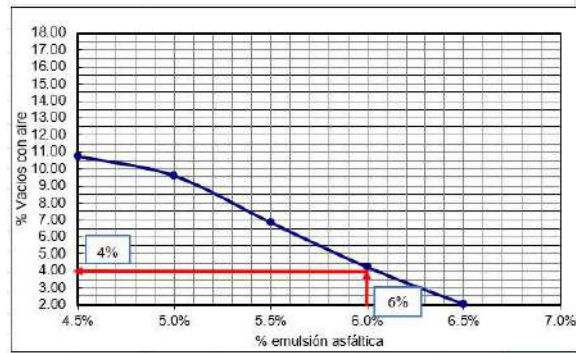
3.10.13. Gráficos sin adición de caucho

Gráfico N° 23.- Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica



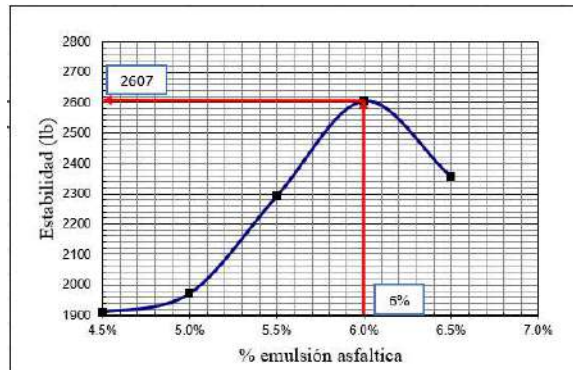
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 24.- Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico



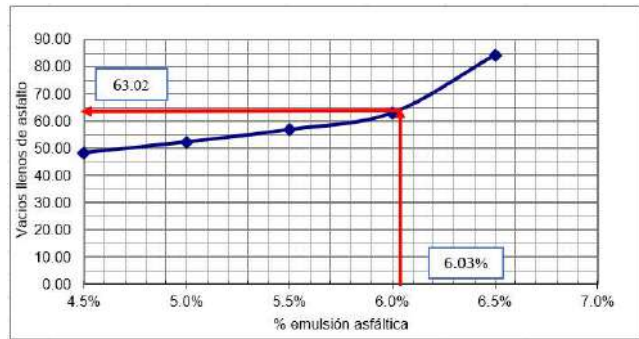
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 25.- Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



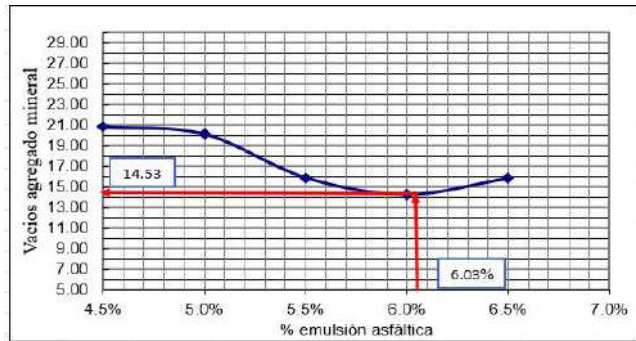
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 26.- Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico



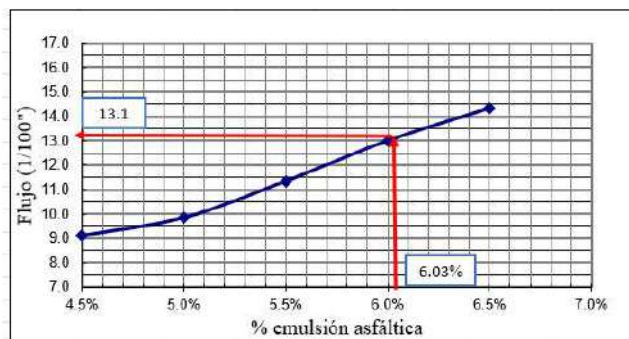
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 27.- Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica



Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 28.- Curva de Flujo vs emulsión asfáltica



Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica se determina por las gráficas N° 20 (Peso específico Bulk), N° 21 (Porcentaje de vacíos tomada del 4%) y N° 22 (Estabilidad).

Los valores de porcentaje óptimo fueron: 6.5%, 6% y 6% respectivamente tomando el promedio de estos tres valores tenemos el valor de 6.03% para esta mezcla, es decir se encuentra dentro de las especificaciones del método.

La siguiente tabla nos muestra los resultados obtenidos.

Tabla N° 22.- Resultados de la muestra sin caucho

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"		
PARAMETROS	VALOR	ESPECIFICACIONES
ESTABILIDAD (lb)	2607	1800 Min.
FLUJO (1/100")	13.1	8- 14
VACIOS	4.23	3-5
% VACIOS CON AIRE (VAM)	14.53	14
% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)	63	65- 75

Fuente: Gabriela Quimbita

Los valores cálculos que se encuentran en la tabla N°22 nos indican que nuestra muestra sin adición de caucho o muestra tradicional se encuentran dentro de las especificaciones del método utilizado.

3.11. Elaboración de briquetas con caucho triturado vulcanizado en diferentes porcentajes

El procedimiento que se realiza para la elaboración de estas briquetas es igual a una briqueta normal adicionando los respectivos porcentajes seleccionados.

Determinación de RICE con caucho vulcanizado en diferentes porcentajes

Tabla N° 23.- Resultados ensayo RICE

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"					
DETERMINACIÓN DE RICE 3% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%
A= Peso de la muestra	1691	1725.3	1623.2	1500	2000
D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua +muestra	6326	6365.6	6321.4	6272.5	6534.9
Densidad Rice gr/cc = A/(A + D - E)	2.225	2.286	2.330	2.410	2.325
DETERMINACIÓN DE RICE 6% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%.
A= Peso de la muestra	1261	1250	1346	1580	1346
D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua +muestra	6243.8	6332	6291.7	6143	6121
Densidad Rice gr/cc = A/(A + D - E)	2.380	2.445	2.462	2.446	2.340
DETERMINACIÓN DE RICE 9% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%
A= Peso de la muestra	1461	1500	1650	1522	1545

D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua +muestra	6254	6244.7	6335.2	6265.8	6261.5
Densidad Rice gr/cc = A/(A + D - E)	2.427	2.307	2.325	2.337	2.277
DETERMINACIÓN DE RICE 12% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%
A= Peso de la muestra	1583	1695.9	1545.4	1479.4	1520
D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua +muestra	6326.2	6366.3	6259.8	6239.1	6190.7
Densidad Rice gr/cc = A/(A + D - E)	2.691	2.519	2.441	2.405	2.285
DETERMINACIÓN DE RICE 15% DE CAUCHO					
% de asfalto	4.50%	5%	5.50%	6.00%	6.50%
A= Peso de la muestra	1461	1426	1446	1598.9	1449
D= Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395	5395
E= Peso del recipiente + agua +muestra	6256.6	6271	6241.6	6432	6181
Densidad Rice gr/cc = A/(A + D - E)	2.381	2.340	2.271	2.329	2.130

3.11.1 Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para porcentajes de caucho.

Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

Gravedad específica del agregado: 2.449

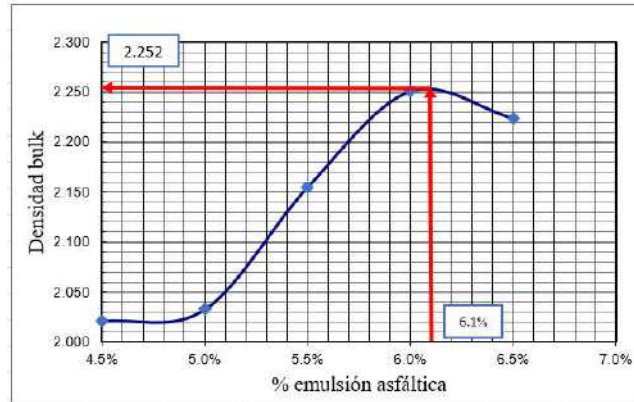
Porcentaje de caucho: 3%

Tabla N° 24.- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall con adición de 3% de caucho

BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
		CORREC.	Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios		Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	
1	4.5%	0.81	1198.6	1200.9	610.8	590.1	2.03								2138.0	1731.8	9.0
2		0.83	1210.0	1215.5	612.1	603.4	2.01								2125.0	1763.8	9.2
3		0.81	1196.3	1209.1	618.8	590.3	2.03								2140.0	1733.4	9.1
PROMEDIO							2.02	2.27	36.16	82.50	11.16	126.11	21.18	47.32		1743	9.1
1	5.0%	0.81	1243.6	1251.7	645.3	606.4	2.05								2145.0	1737.5	12.0
2		0.81	1212.6	1219.3	625.2	594.1	2.04								2234.0	1809.5	14.0
3		0.81	1267.5	1272.5	640.8	631.7	2.01								2198.0	1780.4	11.0
PROMEDIO							2.03	2.28	38.53	82.97	10.73	126.85	21.14	49.25		1776	12.3
1	5.5%	0.83	1264.3	1270.4	685.8	584.6	2.16								2469.0	2049.3	17.0
2		0.81	1312.5	1317.8	712.4	605.4	2.17								2561.0	2074.4	16.0
3		0.81	1269.7	1275.1	680.2	594.9	2.13								2522.0	2042.8	19.0
PROMEDIO							2.15	2.34	45.25	87.96	7.89	134.47	16.84	53.14		2056	17.3
1	6.0%	0.86	1278.4	1283.4	714.5	568.9	2.25								2496.0	2146.6	18.0
2		0.83	1296.5	1301.9	725.8	576.1	2.25								2680.0	2224.4	21.0
3		0.81	1324.7	1329.7	742.1	587.6	2.25								2676.0	2167.6	15.0
PROMEDIO							2.25	2.41	62.71	91.86	6.60	140.44	16.38	69.31		2180	18.0
1	6.5%	0.93	1198.7	1201.3	665.3	536.0	2.24								2221.0	2065.5	21.0
2		0.86	1265.3	1267.8	698.0	569.8	2.22								2411.0	2073.5	21.0
3		0.86	1240.1	1242.5	682.3	560.2	2.21								2434.0	2093.2	24.0
PROMEDIO							2.22	2.33	82.38	90.75	4.38	138.75	17.83	86.76		2077	22.0

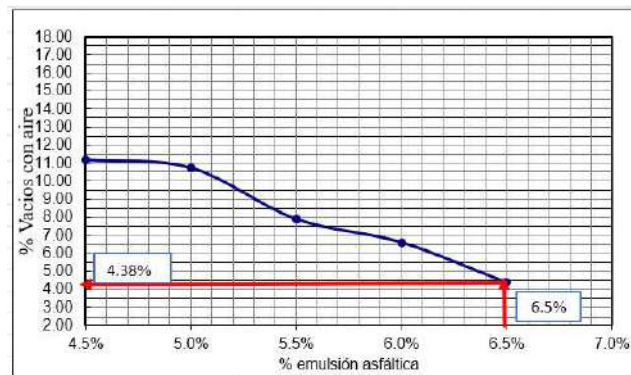
3.11.2. Gráficos con adición de caucho al 3%

Gráfico N° 29. Curva peso Específico Bulk vs % emulsión asfáltica



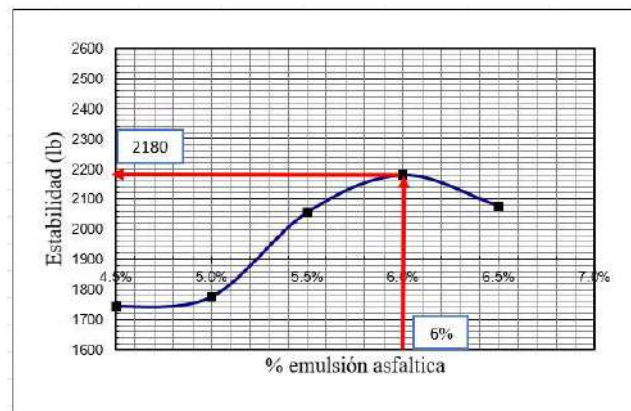
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 30.- Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico



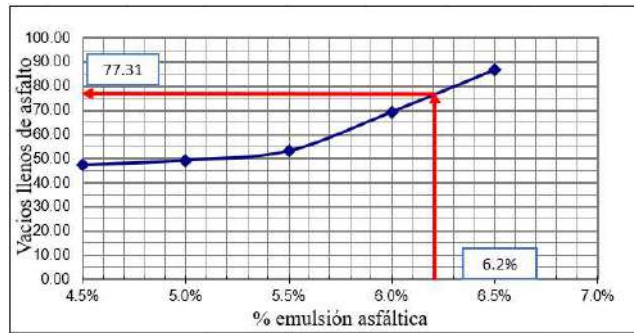
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 31.- Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



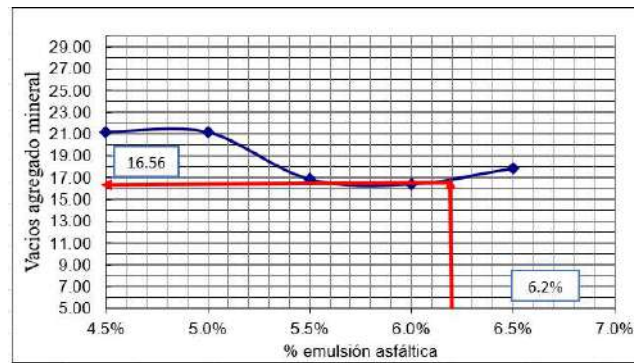
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N°32.- Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico



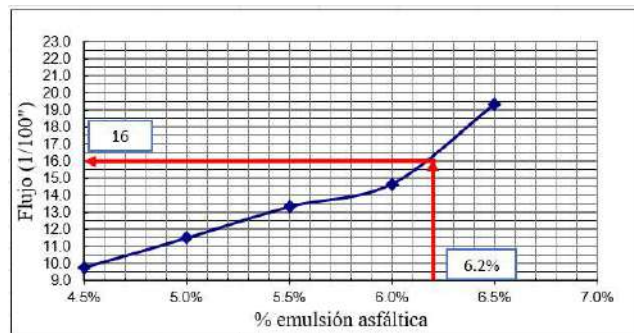
Fuente: Gabriela Quimbita

Gráfico N° 33.- Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica



Fuente: Gabriela Quimbita


Gráfico N° 34.- Curva de Flujo vs emulsión asfáltica



Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en una mezcla con adición de caucho del 3% de acuerdo con las curvas de peso específico Bulk, estabilidad e índice de vacíos es de 6.2%, con el cual determinamos el resto de los parámetros cuyos resultados se muestran en la tabla a continuación:

Tabla N° 25.-Resultados ensayos Marshall con adición de 3% de caucho triturado vulcanizado



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"		
PARAMETROS	VALOR	ESPECIFICACIONES
ESTABILIDAD (lb)	2180	1800 Min.
FLUJO (1/100")	16	8- 14
VACIOS	4.23	3-5
% VACIOS CON AIRE (VMA)	16.6	14
% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)	77.3	65- 75

Interpretación: la mezcla asfáltica con adición del 3% de caucho triturado vulcanizado nos da valores de flujo, vacíos minerales con aire y vacíos llenos de asfalto que no se encuentran dentro de los límites para el cual fueron diseñados. Sin embargo, la estabilidad y el porcentaje de vacíos aún se encuentran dentro de los parámetros.

3.12. Resultados obtenidos con los diversos porcentajes de caucho

La siguiente tabla contiene los resultados de los valores obtenidos para el diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall con la adición de los porcentajes de caucho. Los métodos de cálculo y graficas de estas muestras se encuentran desarrollados y se los puede verificar en anexos.

Tabla N° 26.- Valores resultados del ensayo Marshall en distintos porcentajes.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE CAUCHO VULCANIZADO TRITURADO EN MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO"						
PARAMETROS	% de caucho					Especificaciones
	3%	6%	9%	12%	15%	
%Óptimo de asfalto	6.2%	6%	6.13%	6.03%	5.90%	-
% Vacíos	4.38%	4.75%	4.38%	4.60%	2.83%	3 - 5
ESTABILIDAD (lb)	2180	2003	2151	2190	2192	1800
FLUJO (1/100")	16	16	19.6	19.3	23	8- 14
% VACIOS CON AIRE (VMA)	16.6	16.6	15.3	14.9	16	14
% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)	77.3	83.8	84.8	70	75.5	65- 75

Fuente: Gabriela Quimbita

Interpretación: Los valores mostrados en la tabla anterior nos demuestra en resumen los parámetros calculados con los distintos porcentajes, el cual solo la mezcla con adición del 3% de caucho vulcanizado con un porcentaje óptimo de emulsión de 6.2% se encuentran con parámetros de estabilidad y vacíos dentro de la norma, Los demás porcentajes de 6%, 9%, 12% y 15%, no se encuentran favorables podemos notar que mientras se aumenta el porcentaje de caucho la estabilidad baja y el flujo sube.

3.13 Diseño de pavimento flexible

Con los datos obtenidos se procede a realizar el diseño de un pavimento flexible utilizando el método AASTHO 1993 para una muestra tradicional (sin adición de caucho) y para la muestra con adición de caucho vulcanizado triturada de 3% que fue el que más cumplió las normas.

3.13.1 Mezcla asfáltica sin adición de caucho

Tabla N° 27.- Datos para diseño de pavimento flexible

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE		
DATOS INICIALES		
Cargas de tráfico vehiculares impuestos por el pavimento	W18	2692780
CBR	CBR	20
Módulo de resiliencia de la subrasante	MR(psi)	20407.06
tipo de trafico	tipo	TP9
Numero de etapas	etapas	1
nivel de confiabilidad	Conf.	80%
Coeficiente de desviación estándar	ZR	-0.841
Desviación estándar combinada	So	0.45
Índice de Serviciabilidad inicial	Pi	4.2
Índice de Serviciabilidad final	Pt	2
Diferencia de Serviciabilidad	ΔPSI	2.2

Fuente: Autor

Formula general AASTHO

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log (SN+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{\dots}{(SN+1)^{5.19}}$$

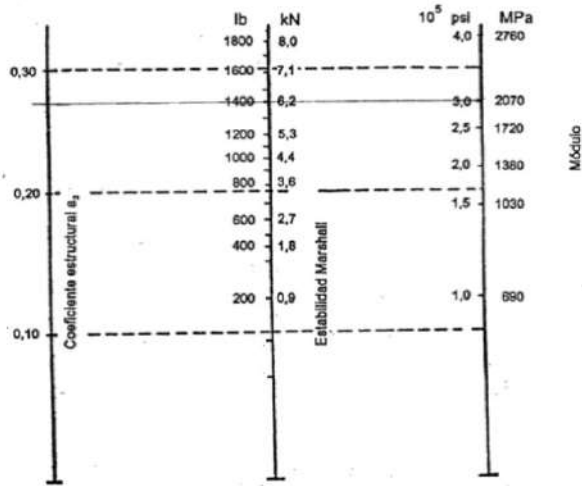
Número estructural requerido	SN	2.5282
------------------------------	----	--------

Comprobación

$Log_{10}(W_{18}) - Z_r * Z_o + 0.20 + 8.07$	15.0787
$9.39 * Log_{10}(SN + 1) + \frac{Log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32Log_{10}(Mr)$	15.0787

Número estructural SN

Gráfico N° 35. Valores de a_n para número estructural



SN = número estructural

$a_1, 2, 3$ = coeficientes estructurales de las capas carpeta, base y subbase respectivamente

$d_1, 2, 3$ = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente

m_2, m_3 = coeficiente de drenaje para la base y subbase respectivamente

Para los valores del coeficiente a_n tomamos los valores determinados en la siguiente gráfica.

Estabilidad: 2607 lb

BASE DE AGREGADOS		SUBBASE GRANULAR	
CBR %	a2	CBR %	a3
20	0.070	10	0.080
25	0.085	15	0.090
30	0.095	20	0.093
35	0.100	25	0.102
40	0.105	30	0.108
45	0.112	35	0.115
50	0.115	40	0.120
55	0.120	50	0.125
60	0.125	60	0.128
70	0.130	70	0.130
80	0.133	80	0.135
90	0.137	90	0.138
100	0.140	100	0.140

a1	0.44
a2	0.07
a3	0.093

Calidad de drenaje

Gráfico N° 36.-Valores de diseño para calidad de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2	1.15
m3	1

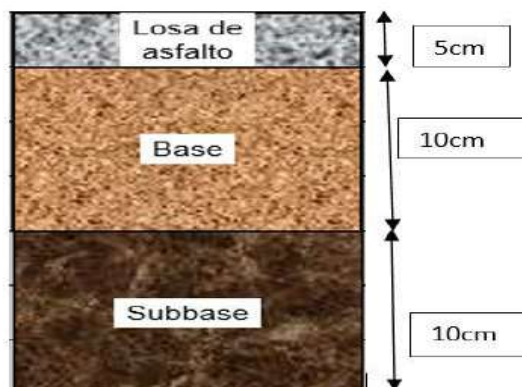
Espesor de la capa superficial	D1	5
espesor de la base	D2	10
espesor de la subbase	D3	10

Numero estructural requerido	2.5282
numero estructural calculado	3.9350

Estructura del pavimento

Losa	e=	5
Base granular	e=	10
subbase granular	e=	10

Gráfico N° 37. Estructura del pavimento flexible



Fuente: Autor

3.13.2 mezcla asfáltica con el 3% de adición de caucho vulcanizado triturado.

Estructura del pavimento

Aplicando el cálculo anterior para pavimento flexible los valores para una estabilidad de 2180 lb de la mezcla asfáltica con adición de caucho triturado vulcanizado tenemos:

Número estructural requerido	SN	2.5282
Losa de asfalto	e=	5
Base granular	e=	10
subbase granular	e=	10

Interpretación: Mediante el método AASTHO 1993, logramos determinar los valores que componen la estructura del pavimento flexible dando valores para la losa de asfalto de 5 cm, la base granular de 10cm y para la subbase de 10cm en relación CBR del 20% del suelo en buenas condiciones.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto de la adición de caucho triturado vulcanizado en mezclas asfálticas en frío mediante análisis estabilidad- flujo de las mezclas para el cumplimiento de especificaciones Marshall en diferentes porcentajes de caucho lo cual se observa que la mezcla adicionada se vuelve densa adquiriendo mayor fluidez lo cual mejora su durabilidad y deformación generada por las cargas de tráfico.
- Se elaboraron briquetas con adición caucho triturado vulcanizado en una mezcla asfáltica en frío con los porcentajes de 0, 3, 6, 9 y 12 por ciento del peso de la briqueta de 1200gr, los agregados utilizados fueron 12.5% de ¾”, 37.5% de ½” y 50% de fino con emulsión asfáltica, al adicionar el caucho a la mezcla la estabilidad baja sin embargo el flujo aumenta, es decir que se mantiene elástica, este tipo de mezcla puede ser aplicable en lugares con temperaturas bajas, para vías de poco tránsito, para bacheos además si se realiza una estabilización previa de suelo y con la metodología correcta cumple con su funcionalidad además de ser amigable con el ambiente.
- Se realizó el análisis de resultados mediante la aplicación del método Marshall para mezcla asfáltica sin adición de caucho los resultados obtenidos para la estabilidad se encuentran en la tabla N°22, la cual indica que cumplen los parámetros de diseño es decir se encuentran dentro del rango establecido. Para la mezcla con adición en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12% y 15%. Los valores calculados son desfavorables a excepción de la mezcla del 3% la cual cumple con los parámetros de estabilidad y % de vacíos, pero el flujo se encuentra fuera de rango para el diseño que fue considerado.
- Se determinó que en las mezclas sin adición de caucho el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica es de 6.03%, dando como resultado para: estabilidad 2607

lb, flujo 13.1 y vacíos 4.23%. encontrándose dentro de la norma. Mientras que en la mezcla asfáltica con 3% de adición de caucho triturado vulcanizado el porcentaje es 6.2% estabilidad de 2180 lb, flujo 16 y vacío 4.38, para la muestra con adición de 6%, el porcentaje es 6% la estabilidad de 2003lb, flujo de 16, y vacíos de 4.75%. Para la muestra 9% el porcentaje es 6.13% la estabilidad de 2151lb, flujo de 19.6, y vacíos de 4.38%. Para la muestra de 12% el porcentaje es 6.03% la estabilidad de 2190lb, flujo de 19.3, y vacíos de 4.38%. Para la muestra de 15% el porcentaje es 5.9% la estabilidad de 2192lb, flujo de 23, y vacíos de 2.83%. lo cual nos indica que estas mezclas con adición de caucho triturado vulcanizado se encuentran fuera de los parámetros sin embargo el diseño fue considerado para tráfico pesado si lo consideramos para utilizarlo con criterio de tráfico medio los estos resultados se encuentran dentro de los parámetros. (Parámetros se encuentran en la tabla N°04).

- Se comparó los espesores de capas de la estructura del pavimento flexible tanto para la mezcla sin caucho como para la muestra con adición nos dan valores de losa asfáltica de 5cm, base de 10cm y subbase de 10cm, debido a que los parámetros escogidos para el cálculo en base a la estabilidad sin caucho 2607lb, y con adición de caucho de 2180lb resultan en su mayoría iguales para esta estructura.

4.1 RECOMENDACIONES

- Es importante que se inculque en todas las personas la cultura del reciclaje motivando así a empresas dedicadas a la construcción a la utilización del caucho triturado vulcanizado para la fabricación de asfalto logrando así reducir el impacto ambiental.
- Se recomienda dar un correcto manejo a las llantas usadas para que sean recicladas y no eliminadas de forma inadecuada debido a que puede provocar un impacto ambiental considerable.
- Efectuar ensayos con partículas de caucho triturado en distintos tamaños con la finalidad de verificar si existen mejores resultados en la aplicación de mezclas asfálticas para considerarlos aplicables en las construcciones de carreteras
- Analizar costos que se tendrán al adicionar caucho triturado vulcanizado a las mezclas asfálticas con la finalidad de comprobar si resulta una ventaja o desventaja aplicar este tipo de asfaltos ecológicos en obra.
- Se recomienda realizar los ensayos de los materiales respectivos para conocer sus propiedades y al momento de realizarlos ejecutarlos de manera correcta para evitar alteraciones en los resultados finales, es importante llevar el control de registro de datos lo más correcto posible con la finalidad de evitar errores y repetir los ensayos por falta de información.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

Bibliografía

- [1] R. Acosta y D. Vega, «Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico».
- [2] T. V. C. Paredes., «Uso y reutilización de residuos de caucho en pavimentos.,» *Boletín Informativo CEI*, vol. 6, n° 3, pp. 151-152, 2019.
- [3] N. Anchayhua, «Investigación sobre la realidad del caucho en desuso en Perú comparandolo con otros países,» Arequipa, 2020.
- [4] B. Monge, «DISEÑO DEL PROCESO DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE NEUMÁTICOS, INTRODUCCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR,» Valencia, 2019.
- [5] M. Morante, «Utilizacion de gránulos de caucho triturado de eumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado,» 2019.
- [6] K. Ayala y J. Heredia, «Mezclas asfálticas mejoradas con caucho de llantas añadido por vía seca,» 2019.
- [7] Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica, «Ecuador explora las posibilidades industriales del caucho reciclado de neumáticos,» 2015.
- [8] Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica, «Por primera vez caucho reciclado es usado como parte de capa asfáltica en Ecuador,» 2015.
- [9] G. E. Bonett Solano, «Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible,» 2015.
- [10] D. O. Carrasco Flores, «Estudio Comparativo entre Mezclas Asfálticas en Caliente y Mezclas Asfálticas con Emulsiones Tibias,» Perú, 2004.
- [11] Urbacom, «información General sobre Asfalto,» Internet: www.urbancom.eu/asfalto.htm. (2016.)

- [12] Instituto Mexicano del Transporte (SCT), «Emulsiones Asfálticas,» México, 2001.
- [13] República del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (M.O.P.), «Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes,» Ecuador, 2002.
- [14] T. Uson, «Agregados,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7321/Capitulo4.pdf>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [15] A. M. D. BOGOTA, «Estudio de las Mejoras Mecánicas de llantas Contrato IDU-366-01, Alcaldía Mayor,» [En línea]. Available: <https://revistaespacios.com/a19v40n34/19403412.html>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [16] Yenny, «El asfalto,» Usos del Asfalto, 14 julio 2012. [En línea]. [Último acceso: www.asfaltoenobracivil.blogspot.com/2012/07/usosdel-asfalto].
- [17] R. Herrera y G. Botasso, «Caracterización de los Asfaltos Utilizados en las obras Viales del Ecuador,» 2016.
- [18] Z. Yildirim y M. Karacasu, «Modelling of waste rubber and glass fiber with response surface method in hot mix asphalt.,» *Construction and Building Materials*, vol. 227, pp. 117070-117083, 2019.
- [19] H. y. o. Yu, «Effect of Mixing Sequence on Asphalt Mixtures Containing Waste Tire Rubber and Warm Mix Surfactants,» *Journal of Cleaner Production*, , vol. 249, pp. 1-39, 2019.
- [20] G. Yanez, «Manual de practicas,» Quito, 2009.
- [21] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, «Manual de Especificaciones MOP – 001 – F 2002 Construcción de Caminos y Puentes del Ministerio de Obras Públicas,» 2002.
- [22] P. G. Anguas, *Aspectos del Diseño Volumetrico de mezclas Asfálticas*, Sanfadila Queretaro, 2004.
- [23] M. S. D. y. & M. D. Jiménez, «Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones.,» *Infraestructura*, vol. 21, pp. 18-29, 2009.

- [24] Civilexcel, «<https://www.civilexcel.com/2012/02/disenode-mezclas-asfalticas-en.html>,» junio 2008. [En línea]. Available: <https://www.civilexcel.com/2012/02/disenode-mezclas-asfalticas-en.html>. [Último acceso: febrero 2022].
- [25] L. Marquez, *Guías de laboratorio de Suelos Asfalto y concreto*, Merida, 2001.
- [26] T. Ricardo, «Agregados para la Construcción,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/ludwigtrinidad/agregados-para-la-construccion>. [Último acceso: mayo 2022].
- [27] ASTM, «Abrasion de la maquina de los Angeles,» [En línea]. Available: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/1-agregados/1.10-1.11.pdf>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [28] L. d. P. DIC, «Ensayo de Emulsiones Asfálticas,» [En línea]. Available: toaz.info-ensayos-de-las-emulsiones-asfalticaspdf-pr_a2b8d6325166cc7e8d7d7e2048fcff7e.pdf. [Último acceso: mayp 2022].
- [29] Intituto del Asfalto Asfalto, «Instituto del. Superpave Mix Design,» *Lexington: Instituto del Asfalto*, vol. 3, pp. 45-62, 2001.
- [30] M. S. p. e. d. d. m. asfálticas, «Bitumix CVV Especialidades Asfálticas,» 2015.
- [31] A. Montejo, «Ingeniería de Pavimentos Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías D.C.,» *Universidad Católica de Colombia*, pp. 355-400, 2008.
- [32] F. Aisien, F. Hymore y R. 2. Ebewe, «Application of ground scrap tyre rubbers in asphalt concrete pavements,» *Indian Journal of Engineering y Materials Sciences*, vol. 14, n° 4, pp. 333-338, 2006.
- [32] M. Espinoza. «Ingeniería de Pavimentos»cap II, 2010. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2024/5/T-ESPE-027472-2.pdf>

ANEXOS

Anexo fotográfico

Cantera Herrera	Depósito de la empresa Proneumacosa
-----------------	-------------------------------------



Obtención de emulsión asfáltica	Tamizado de agregados
---------------------------------	-----------------------



Preparación de agregado para ensayo	Prueba de cono en agregado fino
-------------------------------------	---------------------------------



Canastilla pesada para determinar densidades del agregado grueso



Peso de agregado fino en picnómetro para determinar densidades



Pesaje de agregado para mezcla



Mezcla de agregados



Pedestal, martillo y moldes para prueba



Preparación de la mezcla con emulsión



Colocación de mezcla en moldes para briquetas



Retiro de briqueta del pedestal



Preparación de la mezcla con caucho



Extracción de la briqueta



Briquetas elaboradas



Equipo Marshall



Ensayo de briquetas



Ensayo Marshall en las briquetas



Lectura de datos



Registro de resultados



- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para el 6% de caucho triturado vulcanizado
Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
			Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios		Vacios Aer VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	
1	4.5%	0.89	1270.4	1275.8	704.4	571.4	2.22								1532.0	1363.5	9.2
2		0.89	1263.3	1289.3	720.8	568.5	2.22								1610.0	1432.9	10.0
3		0.93	1315.4	1318.2	725.2	593.0	2.22								1510.0	1404.3	9.5
PROMEDIO							2.22	2.69	10.36	84.76	12.33	138.60	13.37	19.20		1400	9.6
1	5.0%	0.86	1269.4	1275.6	705.4	570.2	2.23								1830.5	1574.2	15.5
2		0.86	1257.3	1289.3	720.5	568.8	2.21								1825.0	1569.5	16.0
3		0.81	1309.4	1314.2	724.6	589.6	2.22								1795.0	1454.0	18.0
PROMEDIO							2.22	2.52	16.45	87.73	11.90	138.48	16.61	28.36		1533	16.5
1	5.5%	0.96	1189.4	1196.0	666.9	529.1	2.25								1998.8	1918.8	18.0
2		0.96	1215.7	1220.8	689.2	531.6	2.29								2018.5	1937.8	20.0
3		0.96	1186.3	1192.3	662.3	530.0	2.24								2029.3	1948.1	19.0
PROMEDIO							2.26	2.44	44.52	89.25	7.46	140.88	15.61	52.01		1935	19.0
1	6.0%	1.00	1189.6	1196.3	678.4	517.9	2.30								2189.0	2189.0	19.0
2		1.09	1115.6	1120.0	635.8	484.2	2.30								2175.0	2370.8	21.0
3		0.93	1245.1	1251.0	706.2	544.8	2.29								2162.0	2010.7	17.5
PROMEDIO							2.30	2.41	64.46	90.74	4.54	143.24	14.66	69.00		2190	19.2
1	6.5%	0.89	1245.7	1249.8	690.0	559.8	2.23								2195.0	1953.6	21.5
2		0.83	1289.6	1292.6	712.0	580.6	2.22								2190.0	1817.7	22.0
3		0.83	1302.5	1304.2	724.5	579.7	2.25								2180.0	1809.4	20.2
PROMEDIO							2.23	2.29	84.33	88.19	2.35	139.22	17.49	86.57		1860	21.2

- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para el 9% de caucho triturado vulcanizado
Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lb/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100''
			Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios		Vacios Agr. VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	
1	4.5%	0.89	1270.4	1275.8	704.4	571.4	2.22								1532.0	1363.5	9.2
2		0.89	1263.3	1289.3	720.8	568.5	2.22								1610.0	1432.9	10.0
3		0.93	1315.4	1318.2	725.2	593.0	2.22								1510.0	1404.3	9.5
PROMEDIO							2.22	2.69	10.36	84.76	12.33	138.60	13.37	19.20		1400	9.6
1	5.0%	0.86	1269.4	1275.6	705.4	570.2	2.23								1830.5	1574.2	15.5
2		0.86	1257.3	1289.3	720.5	568.8	2.21								1825.0	1569.5	16.0
3		0.81	1309.4	1314.2	724.6	589.6	2.22								1795.0	1454.0	18.0
PROMEDIO							2.22	2.52	16.45	87.73	11.90	138.48	16.61	28.36		1533	16.5
1	5.5%	0.96	1189.4	1196.0	666.9	529.1	2.25								1998.8	1918.8	18.0
2		0.96	1215.7	1220.8	689.2	531.6	2.29								2018.5	1937.8	20.0
3		0.96	1186.3	1192.3	662.3	530.0	2.24								2029.3	1948.1	19.0
PROMEDIO							2.26	2.44	44.52	89.25	7.46	140.88	15.61	52.01		1935	19.0
1	6.0%	1.00	1189.6	1196.3	678.4	517.9	2.30								2189.0	2189.0	19.0
2		1.09	1115.6	1120.0	635.8	484.2	2.30								2175.0	2370.8	21.0
3		0.93	1245.1	1251.0	706.2	544.8	2.29								2162.0	2010.7	17.5
PROMEDIO							2.30	2.41	64.46	90.74	4.54	143.24	14.66	69.00		2190	19.2
1	6.5%	0.89	1245.7	1249.8	690.0	559.8	2.23								2195.0	1953.6	21.5
2		0.83	1289.6	1292.6	712.0	580.6	2.22								2190.0	1817.7	22.0
3		0.83	1302.5	1304.2	724.5	579.7	2.25								2180.0	1809.4	20.2
PROMEDIO							2.23	2.29	84.33	88.19	2.35	139.22	17.49	86.57		1860	21.2

- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para el 12% de caucho triturado vulcanizado
Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

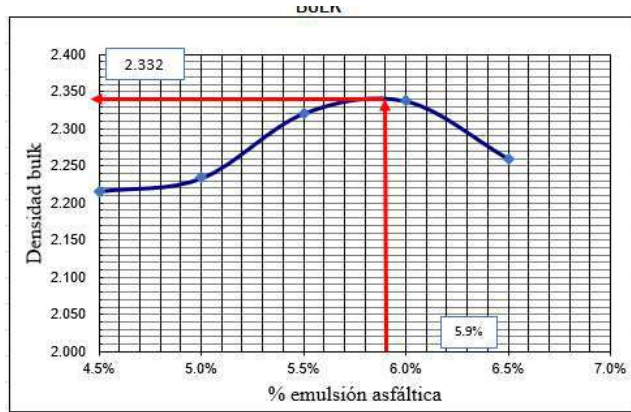
BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
			Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios		Vacios Agr. VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	
1	4.5%	0.89	1270.4	1275.8	704.4	571.4	2.22								1532.0	1363.5	9.2
2		0.89	1263.3	1289.3	720.8	568.5	2.22								1610.0	1432.9	10.0
3		0.93	1315.4	1318.2	725.2	593.0	2.22								1510.0	1404.3	9.5
PROMEDIO							2.22	2.69	10.36	84.76	12.33	138.60	13.37	9.20		1400	9.6
1	5.0%	0.86	1269.4	1275.6	705.4	570.2	2.23								1830.5	1574.2	15.5
2		0.86	1257.3	1289.3	720.5	568.8	2.21								1825.0	1569.5	16.0
3		0.81	1309.4	1314.2	724.6	589.6	2.22								1795.0	1454.0	18.0
PROMEDIO							2.22	2.52	16.45	87.73	11.90	138.48	16.61	28.36		1533	16.5
1	5.5%	0.96	1189.4	1196.0	666.9	529.1	2.25								1998.8	1918.8	18.0
2		0.96	1215.7	1220.8	689.2	531.6	2.29								2018.5	1937.8	20.0
3		0.96	1186.3	1192.3	662.3	530.0	2.24								2029.3	1948.1	19.0
PROMEDIO							2.26	2.44	44.52	89.25	7.46	140.88	15.61	52.01		1935	19.0
1	6.0%	1.00	1189.6	1196.3	678.4	517.9	2.30								2189.0	2189.0	19.0
2		1.09	1115.6	1120.0	635.8	484.2	2.30								2175.0	2370.8	21.0
3		0.93	1245.1	1251.0	706.2	544.8	2.29								2162.0	2010.7	17.5
PROMEDIO							2.30	2.41	64.46	90.74	4.54	143.24	14.66	69.00		2190	19.2
1	6.5%	0.89	1245.7	1249.8	690.0	559.8	2.23								2195.0	1953.6	21.5
2		0.83	1289.6	1292.6	712.0	580.6	2.22								2190.0	1817.7	22.0
3		0.83	1302.5	1304.2	724.5	579.7	2.25								2180.0	1809.4	20.2
PROMEDIO							2.23	2.29	844.33	88.19	2.35	139.22	17.49	86.57		1860	21.2

- Diseño de mezclas asfálticas por el método de Marshall para el 15% de caucho triturado vulcanizado
Realizado por: Estefania Gabriela Quimbita Loma

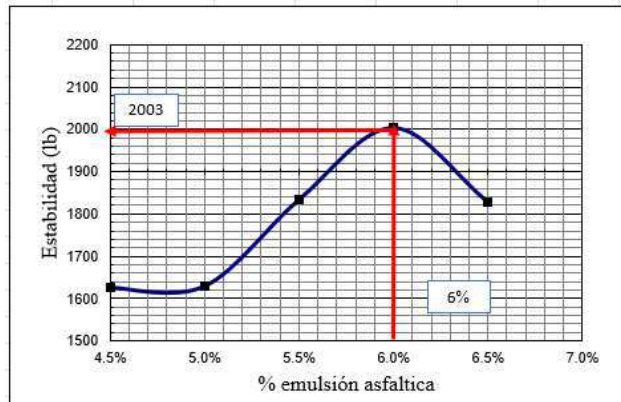
BRIQUETA No.	% E.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO
		CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pie3)	Vacios Agr. VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100"
1	4.5%	0.81	1195.9	1205.1	610.8	594.3	2.01							1725.0	1397.3	10.0	
2		0.83	1215.0	1225.5	612.1	613.4	1.98							1715.0	1423.5	9.8	
3		0.81	1190.0	1201.0	618.8	582.2	2.04							1720.0	1393.2	9.5	
PROMEDIO							2.01	2.27	15.89	74.44	15.22	125.57	21.54	39.74		1405	9.8
1	5.0%	0.86	1145.7	1148.1	576.5	571.6	2.00							1789.0	1538.5	19.0	
2		0.81	1198.3	1200.9	611.9	589.0	2.03							1876.0	1519.6	15.0	
3		0.81	1166.9	1169.3	580.8	588.5	1.98							1954.0	1582.7	18.0	
PROMEDIO							2.01	2.28	27.83	79.36	14.24	125.25	24.58	42.07		1547	17.3
1	5.5%	0.83	1233.6	1235.3	651.5	583.8	2.11							2233.0	1853.4	21.0	
2		0.86	1209.9	1211.2	642.3	568.9	2.13							2309.0	1985.7	23.0	
3		0.83	1252.5	1253.4	667.9	585.5	2.14							2511.0	2084.1	20.0	
PROMEDIO							2.13	2.34	62.68	84.06	6.36	132.68	20.52	69.03		1974	21.3
1	6.0%	0.89	1240.4	1241.9	688.3	553.6	2.24							2496.0	2221.4	25.0	
2		0.89	1229.5	1231.0	680.0	551.0	2.23							2349.0	2090.6	21.0	
3		0.89	1270.1	1271.3	715.8	555.5	2.29							2544.0	2264.2	23.0	
PROMEDIO							2.25	2.41	76.69	89.05	3.26	140.57	16.24	79.94		2192	23.0
1	6.5%	0.81	1233.7	1234.4	644.4	590.0	2.09							2221.0	1799.0	21.0	
2		0.81	1298.9	1299.1	658.3	640.8	2.03							2411.0	1952.9	21.0	
3		0.83	1243.4	1245.8	667.6	578.2	2.15							2331.0	1934.7	24.0	
PROMEDIO							2.09	2.33	87.79	82.59	1.89	130.38	22.73	91.68		1896	22.0

Gráficas con adición de caucho al 6%

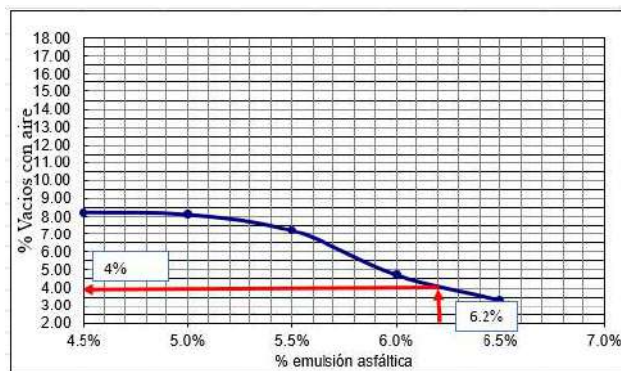
Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica



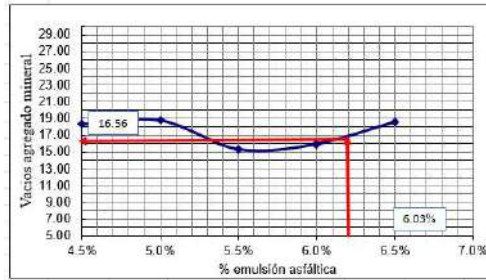
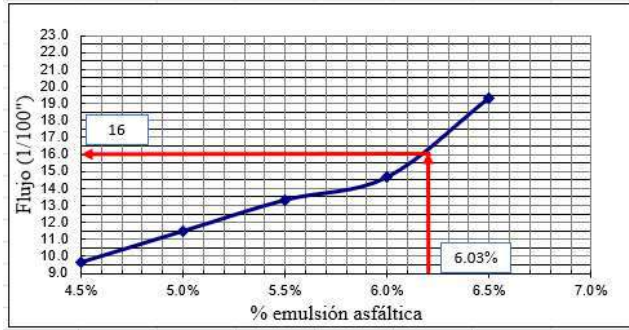
Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



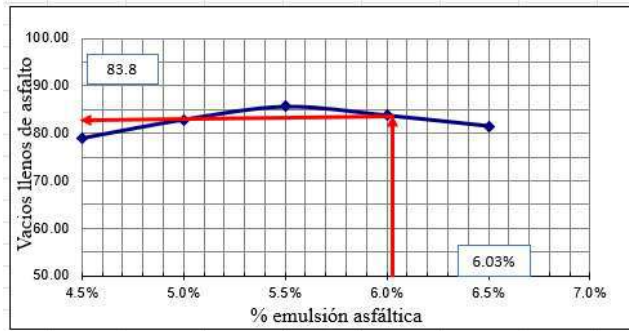
Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico



Curva de Flujo vs emulsión asfáltica

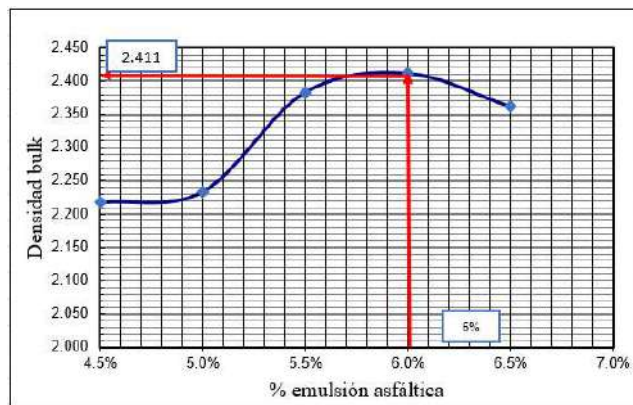


Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico

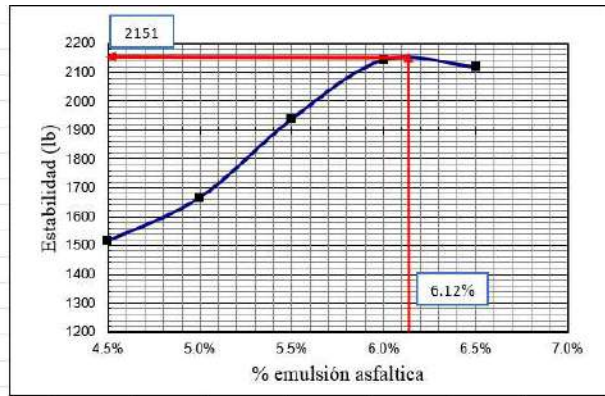


Gráficas con adición de caucho al 9%

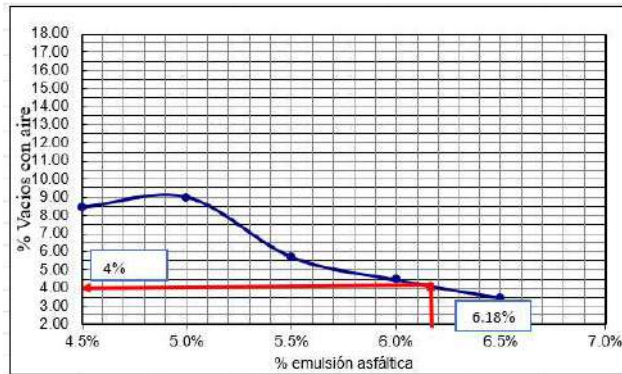
Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica



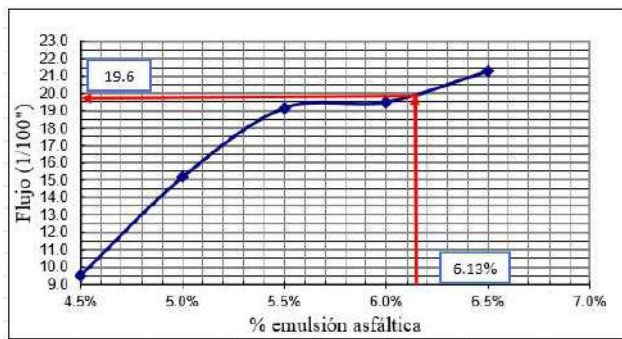
Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



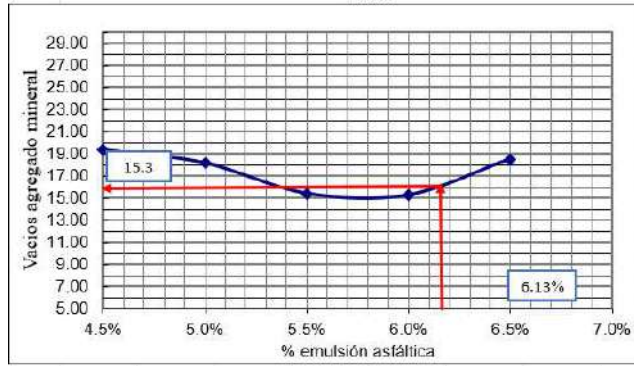
Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico



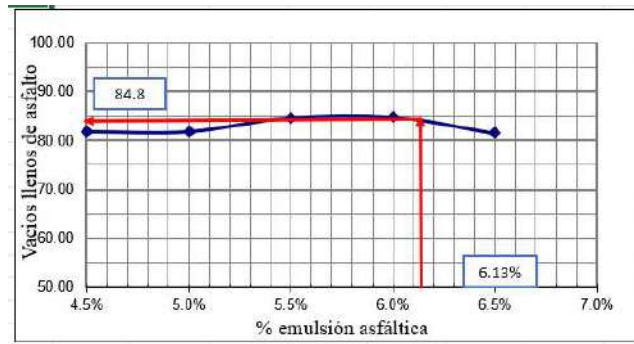
Curva de Flujo vs emulsión asfáltica



Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica

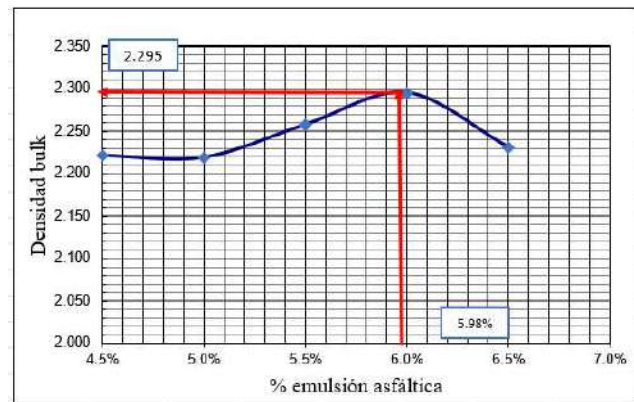


Curva de vácos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico

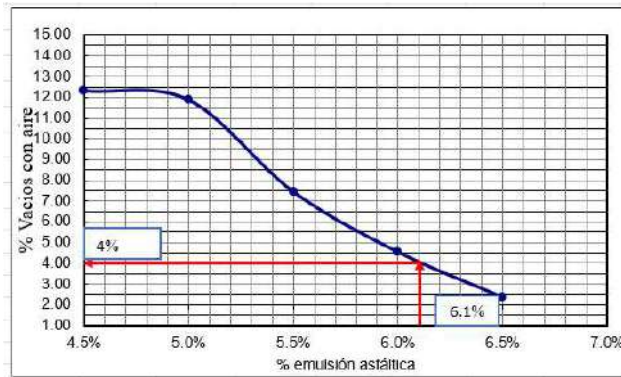
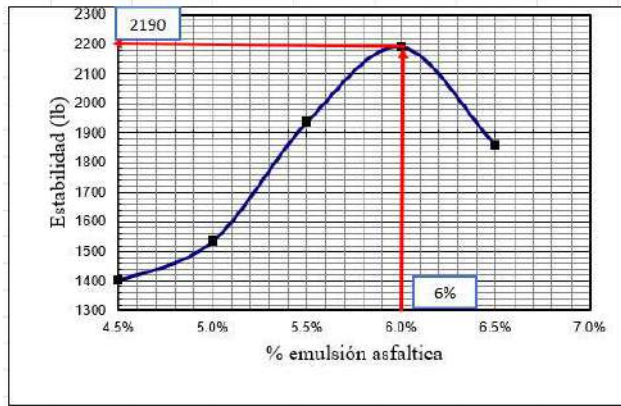


Gráficas con adición de caucho al 12%

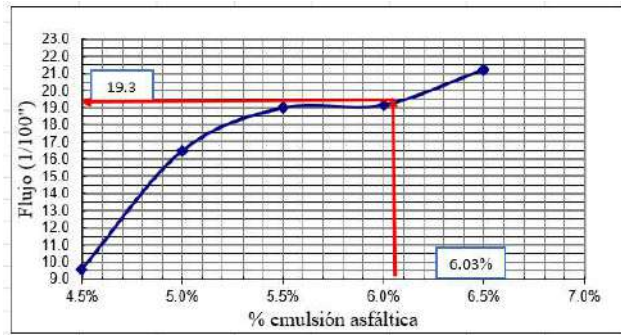
Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica



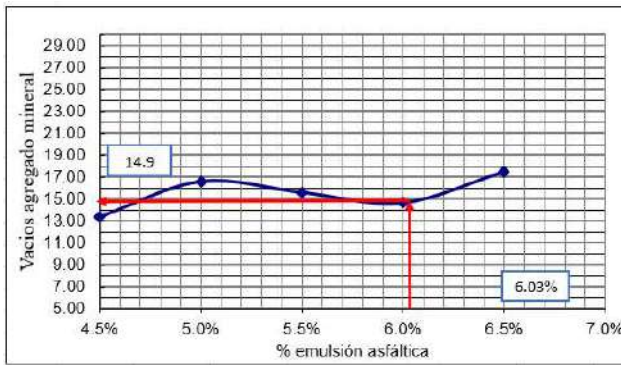
Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



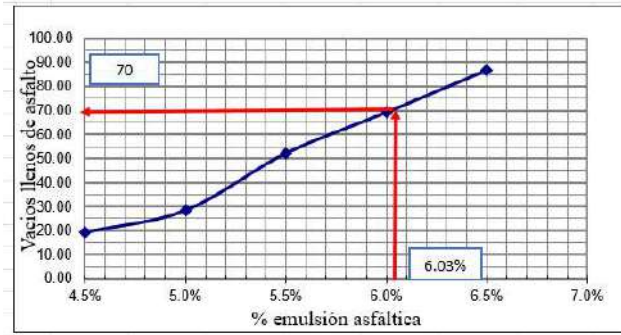
Curva de Flujo vs emulsión asfáltica



Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica

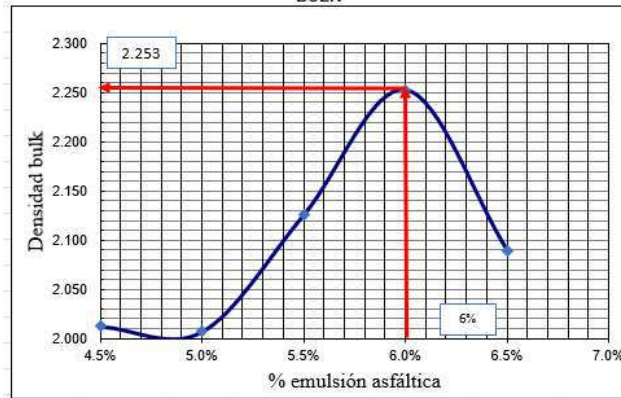


Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico

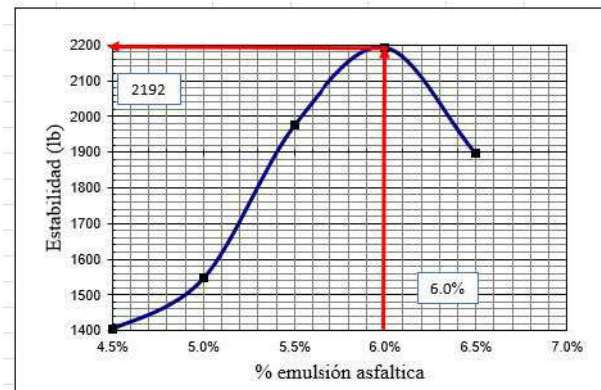


Gráficas con adición de caucho al 15%

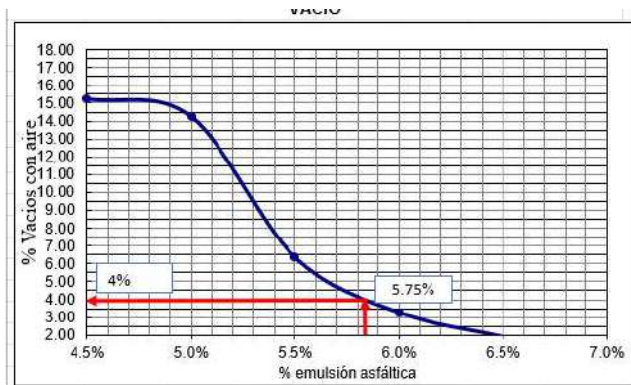
Curva Peso Específico Bulk vs. %emulsión asfáltica



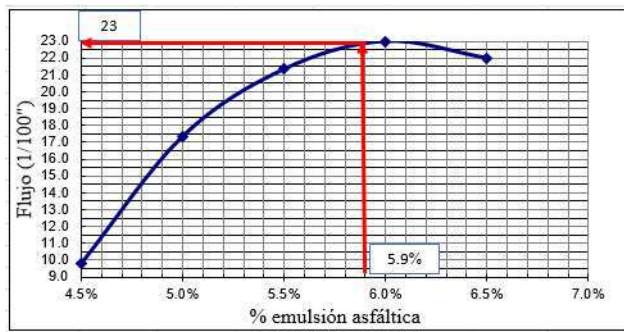
Curva Estabilidad vs emulsión asfáltica



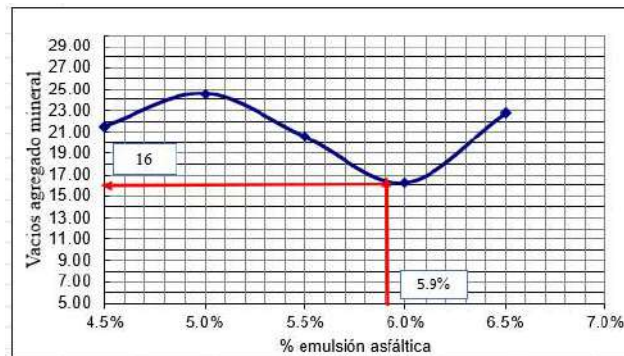
Curva de vacíos vs. % emulsión Asfáltico



Curva de Flujo vs emulsión asfáltica



Curva vacíos agregado mineral vs emulsión asfáltica



Curva de vacíos llenos de asfalto vs. emulsión Asfáltico

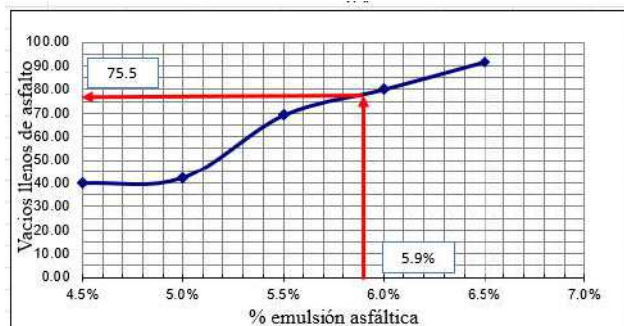


Tabla de factor de corrección de la estabilidad Marshall

VOLUMEN DE LA MUESTRA EN cm ³	ESPELOR APROXIMADO MUESTRA EN mm	FACTOR DE CORRECCIÓN
200-213	25.4	5.56
214-225	26.9	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.5	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.93
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.5	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

