



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

**“DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CAUCHO SBR
USANDO METODO MARSHALL”**

Trabajo de grado presentado para la obtención del título de
Ingeniera Civil.

Autor: Kerlly Ruby Ortiz Navarro

Tutor: Ing. Blas Cruz.

Samborondón, Septiembre 2016.

CERTIFICACION FINAL DE APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de la estudiante **Kerlly Ruby Ortiz Navarro** que cursa estudios en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: “**DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CAUCHO SBR USANDO METODO MARSHALL**”, presentado por la estudiante **Kerlly Ruby Ortiz Navarro** con cédula de ciudadanía N°. 0919080721, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniera Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutora: Ing. Blas Cruz.

Samborondón, Septiembre 2016.

DEDICATORIA

Es una satisfacción culminar una nueva etapa de mi carrera profesional. Me da una gran complacencia poder decir ahora soy una ingeniera civil.

De inicio agradezco a Dios sobre todas las cosas y a mis padres por haberme permitido estudiar esta carrera. A ellos especialmente por el apoyo incondicional brindado durante tantos años y su ferviente soporte para ser cada día mejor y que han sido mi pilar fundamental para perseguir mis metas y alcanzar mis sueños; y bajo sus enseñanzas me han demostrado en el día a día que con responsabilidad, dedicación, esfuerzo y empeño se consigue todo lo que uno se propone. Agradezco también la dicha de tener a mi terremotito, mi hija Bianca, que ha sido mi fortaleza en todo este camino que he recorrido; logrando lo mejor de mí y luchando por nuestro bien común.

A mis hermanos y mi esposo por alentarme a seguir adelante siendo perseverante sin decaer. A mis familiares y amigos que me apoyaron e incentivaron durante toda mi carrera y en esta investigación.

Kerlly Ruby Ortiz Navarro

RECONOCIMIENTO

Debo agradecer de manera especial y sincera a las siguientes personas: Ing. Blas Cruz, Ing. Paul Cabrera y al Ing. Urbano Caicedo; quienes han sido una parte fundamental para la realización de este trabajo; guiándome con detalle en el análisis y desarrollo de elaboración de esta tesis y sobre todo por darme la oportunidad de adquirir grandes conocimientos.

Le agradezco a las empresas Inductroc, Cantera Tierra Blanca, Asfalto Nacional, Cantera Chimbo y sobre todo a la Universidad Tecnológica de Machala por permitirme desarrollar esta investigación en su laboratorio. Además, agradezco a mis amigos: Ing. Javier Chávez, Ing. Sonia Sánchez, Ing. Lisette Sánchez y Abg. Marcia Ortega por el apoyo brindado durante la ejecución de mi proyecto en el área de las pruebas de laboratorio; y a todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron a que este trabajo de investigación pudiera llevarse a cabo.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE GRAFICOS.....	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCION.....	1
ABREVIATURAS.....	3
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Sistematización del Problema.....	7
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Justificación.....	8
1.6 Propuesta.....	9
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL.....	10
2.1 Marco Histórico.....	10
2.1.1 Historia del Asfalto.....	10
2.1.2 Historia del Caucho SBR.....	11
2.2 Marco Teórico.....	12
2.2.1 Mezcla Asfáltica.....	12
2.2.2 Variables a considerar en la mezcla asfáltica.....	13
2.2.3 Asfalto.....	14
2.2.4 Caucho SBR.....	14
2.3 Marco Conceptual.....	15

2.3.1 Principales Pruebas para Mezclas Asfálticas	15
2.3.2 Principales Componentes de la Mezcla Asfáltica.....	16
2.3.3 Principales Propiedades del Asfalto.....	17
2.3.4 Principales Propiedades del caucho SBR.....	17
2.3.5 Reseña de los Métodos de diseño de mezcla asfáltica	19
2.3.6 Métodos de Marshall para Diseño Caliente en Mezcla Asfáltica.....	20
2.3.7 Influencia del CRLI en el Asfalto Modificado.....	22
2.4 Marco Legal	23
2.4.1 Normativas de Referencias para el Hormigón Asfáltico.....	23
2.4.2 Utilización de las Normas INEN Ecuatorianas dentro de las Mezclas Asfálticas Modificada en la Pavimentación de la Red Vial Nacional.....	23
2.5 Hipótesis.....	26
CAPITULO III: METODOLOGIA	27
3.1 Diseño de la Investigación.....	27
3.2 Población y Muestra.....	28
3.3 Instrumentos de recolección de datos.....	31
3.3.1 Fase1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.....	31
3.3.2 Fase 2: Determinación de las propiedades mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.....	32
3.3.3 Fase3: Determinación de las propiedades reológicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.....	33
3.4 Técnicas de investigación	34
CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	43
4.1 Fase1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR	43
4.1.1 Muestreo del agregado mineral.....	43
4.1.2 Ensayo de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos.....	44
4.1.3 Análisis granulométrico de los agregados gruesos.	45
4.1.4 Análisis granulométrico de los agregados finos	45
4.1.5 Ensayo de equivalentes de arena de suelo agregado fino.....	46

4.1.6 Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles	46
4.2 Fase 2: Determinación de las propiedades mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.	46
4.2.1 Penetración	46
4.2.2 Gravedad Específica RICE (AASHTO T 228, ASTM D 70).....	47
4.3 Fase3: Determinación de las propiedades de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.....	48
4.3.1 Porcentaje de mezcla de agregados	48
4.3.2 Medir gravedad específica del agregado grueso (ASTM C 127).....	49
4.3.3 Medir gravedad específica del agregado fino (ASTM C 128)	49
4.3.4 Medir gravedad específica del cemento asfáltico (ASTM C 70)	49
4.3.5 Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D 1188, ASTM D 2726).....	50
4.4 Diseño muestra asfáltica de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR.....	51
4.5 Comparación entre Peso específico Bulk promedio (% en Densidad Bulk) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR.....	52
4.6 Comparación entre % de Vacíos de aire (% Vacíos) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR.....	59
4.7 Comparación entre Flujo (% Óptimo de asfalto) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR	61
4.8 Parámetros de la elaboración de Modelo Matemático	66
4.9 Análisis de Precios Unitarios	73
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones	77
5.3 BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Asfalto que se usó en los diseños de mezcla.	14
Figura 2: Caucho SBR que se usó en los diseños de mezcla.	15
Figura 3: Diseño de la Mezcla Asfáltica usando Caucho SBR.	29
Figura 4: Briquetas Cilíndricas.	29
Figura 5: Briquetas Construidas.....	40
Figura 6: Muestreo del Agregado Mineral.	43
Figura 7: Muestreo del Agregado Mineral.	44
Figura 8: Ensayo del peso de la densidad aparente.	44
Figura 9: Análisis granulométrico de los agregados.	45
Figura 10: Análisis granulométrico de los agregados finos.	45
Figura 11: Ensayo de Penetración.	47
Figura 12: Ensayo de Gravedad Específica.....	48
Figura 13: Mezcla de Agregados.	49
Figura 14: Ecuación Lineal para obtener la variable $X_{m\acute{a}x}$	66
Figura 15: Ecuación Lineal para obtener la variable X	67
Figura 16: Matriz Principal para la obtención de la variable.....	67
Figura 17: Procedimiento para la obtención de la Matriz Principal	68
Figura 18: Matriz A	69
Figura 19: Matriz A^T	69
Figura 20: Matriz C	70
Figura 21: Matriz C^{-1}	70
Figura 22: Matriz P	71
Figura 23: Matriz X para obtener el $X_{m\acute{a}x}$ teórico mediante el Método de los Mínimos Cuadrados.	71
Figura 24: Grafico del Modelo Matemático	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Historia del Asfalto.	11
Tabla 2: Historia del caucho SBR.....	12
Tabla 3: Principales Propiedades para Mezclas Asfálticas.	16
Tabla 4: Principales Componentes de la Mezcla Asfáltica.	16
Tabla 5: Principales Propiedades del Asfalto.....	17
Tabla 6: Principales Propiedades del caucho SBR).	19
Tabla 7: Reseña de los Métodos de Diseño de Mezcla Asfáltica.	20
Tabla 8: Método de Marshall para Diseño Caliente en Mezcla Asfáltica.....	21
Tabla 9: Ventajas del Uso Del CRLL En Las Mezclas Asfálticas.....	23
Tabla 10: Requisitos y Métodos de Ensayo que deben cumplir las Mezclas de Asfalto.	24
Tabla 11: Requerimientos Físicos para las Mezclas de Asfalto – Caucho.....	26
Tabla 12: Proporción de la Mezcla.	30
Tabla 13: Mezcla Asfáltica Convencional.	30
Tabla 14: Asfalto + Caucho SBR.	31
Tabla 15: Normas AASHTO y ASTM aplicables para los asfaltos.....	32
Tabla 16: Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados.	33
Tabla 17: Requerimientos para diseño de Carpeta Asfáltica.	33
Tabla 18: Diseño de Muestra Parón y Diseño Experimental.....	51
Tabla 19: Diseño de Pe de componentes de Mezcla.	52
Tabla 20: Comparación de Bulk.....	52
Tabla 21: Comparación de % de Vacíos de Agregados Minerales.....	54
Tabla 22: Tabla de Mínimo Porcentaje admisible Vacíos en los agregados Minerales.	54
Tabla 23: Tabla de Guía General para ajustes de Mezclas Asfálticas.	55
Tabla 24: Comparación de Estabilidad.	57
Tabla 25: Comparación de % de Vacíos de Aire.	59
Tabla 26: Comparación de Flujo.....	61
Tabla 27: Criterio de diseño sugerido por el Instituto el Asfalto para el Ensayo Marshall.....	63
Tabla 28: Tabla de Peso Especifico (gr/cm ³).	64
Tabla 29: Tabla de Vacíos en agregados minerales (Promedio).....	64
Tabla 30: Tabla de Flujo 0.01”.....	64
Tabla 31: Tabla de Vacíos con Aire (Promedio).....	65
Tabla 32: Tabla de Estabilidad (Lb).....	65

Tabla 33: Tabla de Análisis de Precios para el Diseño del Asfalto Tradicional con 6.5% de Cemento Asfáltico.....	73
Tabla 34: Tabla de Análisis de Precios para el Diseño del Asfalto Tradicional con 6.5% de Cemento Asfáltico y 20% de Caucho SBR.....	74
Tabla 35: Tabla de Presupuesto de Diseño de Mezcla Asfáltica con Caucho SBR usando Método de Marshall	75

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Gráficas de Peso Especifico vs. % de Asfalto.	53
Gráfico 2: Gráficas de Comparación de Bulk.	53
Gráfico 3: Gráficas de % Vacíos en los agregados vs. % de Asfalto.	56
Gráfico 4: Gráficas de Comparación de % de Vacíos de Agregados Minerales.	56
Gráfico 5: Gráficas de Estabilidad vs. % de Asfalto.	58
Gráfico 6: Gráficas de Comparación de Estabilidad.....	58
Gráfico 7: Gráficas de % de Vacíos con Aire vs. % de Asfalto.....	60
Gráfico 8: Gráficas de Comparación de % de Vacíos de Aire.	60
Gráfico 9: Gráficas de Flujo vs. % de Asfalto.	62
Gráfico 10: Gráficas de Comparación de Flujo.....	62

RESUMEN

El presente proyecto de tesis denominado: “DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CAUCHO SBR USANDO METODO MARSHALL” tuvo como finalidad realizar distintos diseños de las mezclas asfálticas mediante el uso del Método Marshall; con el fin de mejorar las propiedades mecánicas, tales como durabilidad y estabilidad, y reducir los porcentajes de vacíos en la mezcla empleando el caucho SBR.

Este estudio experimental constó con el diseño Marshall que es el tradicional y tres con mezclas de caucho SBR con diferentes porcentajes. La elaboración de cada diseño de mezcla asfáltica poseía patrones de diferentes porcentajes de caucho SBR y equitativamente de peso asfáltico, con la finalidad de no variar el peso total de la base asfáltica. Los diseños experimentales se compararon mediante la rotura de briquetas considerando las propiedades de estabilidad, porcentaje de vacíos, porcentaje de asfalto, flujo y resistencia a las deformaciones por factores climáticos y del peso vehicular del tránsito.

INTRODUCCION

En la provincia del Guayas, las carreteras de tránsito vehicular son de vital importancia ya que no están preparadas para el potente tránsito que diariamente están sometidas. Es por ello, que su desarrollo está relacionado directamente con la capacidad de mejora en los diseños de pavimentación de las vías. En los últimos años se ha venido desarrollando nuevas propuestas que permiten optimizar los componentes de la mezcla y reducir los costos de construcción.

Hoy en día el uso de agregados pétreos, asfálticos y caucho SBR son de gran importancia para el área vial; ya que destacan por mejorar las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, optimizando y mejorando las técnicas actuales y brindando mejores beneficios sociales, económicos y ambientales.

Los nuevos asfaltos permiten el empleo de casi todos los tipos de agregados pétreos, asfaltos y asfaltos modificados con caucho SBR con un valor adicional sobre la mezcla asfáltica (de hasta un 25%), pero a su vez reduce el costo del mantenimiento.

Está plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias y emplean en una amplia gama de aplicaciones bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen de tránsito, la magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones provoca que en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado; especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura.

Con ciertas mezclas abiertas (alternativa generada por razones de confort y seguridad), el uso de ligantes convencionales no bastarían para lograr una resistencia mecánica satisfactoria; a causa de una insuficiencia en la cohesión y adherencia. El empleo del ligante a las mezclas podría provocar una disminución en la durabilidad.

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales, una solución evidente sería modificar el asfalto mediante el uso de caucho SBR. Empleando caucho SBR al asfalto, mejora el comportamiento de los pavimentos, optimiza el diseño e incrementa la vida útil de los pavimentos convencionales.

ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
GPa	Giga Pascal
Kg/cm ²	Kilogramo – Centímetro Cuadrado
Kg/m ³	Kilogramo – Metro Cúbico
KN	Kilo Newton
Lt.	Litro
m/s ²	Metro – Segundo Cuadrado
m ² /kg	Metro Cuadrado - Kilogramo
m ³	Metro Cúbico
MF	Módulo de Finura
MR	Módulo de Rotura
EPCO	Empresa Pública de Construcciones.
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
SBR	Caucho estireno-butadieno (del inglés <i>Styrene-Butadiene Rubber</i>)

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día se puede atestiguar como la baja del precio internacional del petróleo provocó una disminución de las reservas dentro de los países petroleros. Ecuador es reconocido por ser un país exportador de petróleo que en la actualidad afronta dificultades económicas debido a la caída en los precios internacionales del petróleo. Además, el 16 de abril del 2016 afrontó un terremoto que causó pérdidas materiales asentando la situación económica precaria del país. Por ello, el Ministerio de Hidrocarburos tomó la decisión de explotar el petróleo dentro del Bloque ITT; el cual se encuentra dentro de parque amazónico Yasuní (reserva mundial de la biósfera). Los ambientalistas e indígenas están en contra de estos trabajos de explotación perforación. Sin embargo, debido a la situación social y económica del país es una de las pocas medidas más rápidas y efectivas para salir del actual estado. Por lo tanto, es responsabilidad de sus ciudadanos aprovechar al máximo aquellas reservas.

Los recursos que nos rodean son de alta competitividad exigiendo a los constructores, ingenieros y financistas buscar nuevas alternativas de estrategias que tengan como fin conjugar rendimientos traducidos en ganancias y durabilidad de los proyectos; sin perjudicar a la vida útil o el medio ambiente.

En el campo de construcción, especialmente en el área vial, se puede optimizar el diseño de la carpeta asfáltica del pavimento. Una de las debilidades del asfalto son sus propiedades mecánicas, químicas y reológicas. Estas debilidades generan diseños poco ortodoxos para el intenso tránsito al que están siendo sometidas; provocando desgaste en las vías. Cada cierto tiempo se debe realizar un mantenimiento en calles, carreteras, autopistas, aeropistas, etc., para corregir aquellas fallas garantizando la seguridad y funcionalidad de quienes las usamos. Debido al actual diseño, los altos costos de mantenimiento en las vías afectan la economía de los usuarios.

Está comprobado que, para una buena optimización y uso del pavimento terminado, las distintas proporciones de mezcla de la carpeta asfáltica determinan las propiedades físicas, mecánicas y reológicas. Estas nuevas mezclas obtienen diseños satisfactorios con un alto rendimiento vial que mejora las condiciones de tránsito.

Ante la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado procesos y fórmulas que permiten la fabricación de hormigón asfáltico de mayor durabilidad, mediante la adición de caucho SBR. La utilización de caucho SBR en la preparación de mezclas asfálticas, se remonta desde hace más de medio siglo en países con mayor avance tecnológico. Desde entonces se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con caucho SBR, a través de pruebas de laboratorio.

Unos de los principales problemas ambientales que tiene actualmente el Ecuador son los neumáticos desechados, ya que, debido a esta problemática el MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador) según el Acuerdo Ministerial N°20 que trata sobre el Plan de Gestión Integral de los Neumáticos Usados para una buena optimización del manejo seguro de este recurso cuando haya cumplido su vida útil.

El empleo de asfaltos modificados con caucho SBR tiene un costo adicional sobre la mezcla asfáltica (variable de hasta un 25% más), pero a su vez reduce los costos de mantenimiento de este producto. De acuerdo a investigaciones hechas sobre el mejoramiento de las mezclas asfálticas para pavimentación, se busca, mediante la inclusión de nuevos materiales para optimizar su desempeño.

1.2 Formulación del Problema

La carpeta asfáltica es la capa superior del pavimento flexible que está compuesta proporcionalmente de materiales pétreos y asfalto. La calzada es un camino o parte de una carretera o carretera reservada a los vehículos, está compuesta de la rasante siendo la línea que marca la cota final de la superficie de rodamiento vehicular y carpeta asfáltica. La superficie de rodamiento vehicular es aquella que se encuentra afectada por los diferentes cambios climáticos; en consecuencia, es notorio cuando la calzada ya no cumple con las especificaciones técnicas mínimas necesarias, provocando futuros accidentes de tránsito.

Además, es importante analizar el deterioro de la carpeta asfáltica e implementar un nuevo método de diseño de mezcla asfáltica que permitan mejorar y estabilizar las vías, asegurar el tránsito y movilizar la producción

De no tomar en cuenta estos problemas y corregir a tiempo estas anomalías, el único posible resultado sería el deterioro de los pavimentos asfálticos y por ende un problema socio económico a lo largo de esta red vial.

Síntomas:

- Deformaciones por factores climatológicos
- Deformaciones por el incremento del peso vehicular.

Causas:

- Mal estado de las carreteras en varias zonas
- Deterioro de la carpeta asfáltica.

Pronóstico:

- Se continuará estudiando la mezcla asfáltica incorporando caucho SBR para comparar sus propiedades mecánicas, químicas y reológicas.

Control de Pronóstico:

Es necesario proponer una metodología para el diseño de la mezcla asfáltica con caucho SBR sin alterar su peso. Con este estudio, se lograría incrementar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas. Observando el comportamiento de este diseño, se podría mejorar su uso y optimizar hasta obtener una mejor calidad y mayor soporte a las condiciones a las que se encuentra expuesta los elementos de las carreteras.

1.3 Sistematización del Problema

En la actualidad una mezcla asfáltica debe cumplir con los parámetros técnicos que permitan ofrecer un producto de calidad; para así desarrollar tareas de investigación que puedan dar respuestas a las siguientes interrogantes:

- ¿Por qué es necesario elaborar el cemento asfáltico con el uso de caucho SBR para optimizar la construcción de vías transitadas?
- ¿Qué cambios reológicos produce la incorporación de caucho SBR en la mezcla para optimizar la construcción de vías transitadas?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del cemento asfáltico con caucho SBR con la mezcla tradicional?
- ¿Cuáles son las ventajas respecto de un asfalto normal?
- ¿Qué tipo de caucho se puede utilizar?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar mezclas asfálticas con caucho SBR, cuyas propiedades físicas y mecánicas, sean evaluadas mediante el diseño Marshall.

1.4.2 Objetivos Específicos

Investigar por medio de un proceso experimental los diseños de mezclas asfálticas aplicando caucho SBR mediante lo siguiente:

- Diseñar la mezcla de asfalto patrón.
- Analizar las mezclas en las que se ha sustituido determinados porcentajes de asfalto por caucho SBR.
- Hacer la comparación de los resultados obtenidos de los diferentes porcentajes de asfalto con caucho SBR por muestra patrón.
- Comparativo Económico y Ambiental de los resultados.

1.5 Justificación

La idea de este estudio tiene como finalidad darle un impulso a la utilización de Asfalto con caucho SBR para optimizar su mezcla, siendo su problemática actual el deterioro de la carpeta asfáltica en varias zonas pavimentadas.

Para una utilización adecuada en la capa de rodadura del pavimento es muy importante una investigación experimental adecuada; ya que con ello se conocerá su funcionalidad, durabilidad y aplicabilidad de los materiales que se implementarán en el diseño para el tráfico de la zona.

Lamentablemente los continuos deterioros que se observan en la superficie de rodadura del pavimento, presentando problemas recurrentes y críticas generalizadas de los usuarios por el tráfico vial, desembocando frecuentes reparaciones, daños prematuros de calzada, el incremento de costos en el mantenimiento y conservación vial. Lo cual, ha conllevado al desarrollo de este estudio, el que ha permitido verificar las propiedades físicas – mecánicas de los materiales que se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas como

solución para mejorar las vías, prolongar los tiempos de uso, costos, duración y periodos de duración vial.

1.6 Propuesta

Se propone determinar el contenido óptimo de caucho SBR en las mezclas asfálticas, se aplica en el laboratorio se utiliza el método Marshall, experimentando lo siguiente:

1. Diseño del asfalto tradicional mediante 6 muestras patrones variando el % de asfalto (5,5.5,6, 6.5, 7 y 7,5).
2. Diseño de asfalto patrón con caucho SBR:
 - 2.1.- 10%
 - 2.1.- 15%
 - 2.2.- 20%

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Historia del Asfalto

El Asfalto es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado. Este, es uno de los componentes ingenieriles más arcaico utilizado para la construcción. Excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso que se dio al asfalto lo usaban como un cementante para la construcción de mampostería y de caminos.

Nuestros antepasados en los albores de la prehistoria consideraban al asfalto como un componente natural de la mayor parte de los petróleos, estando su palabra deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, entre los años 1400 y 600 A. C. en las orillas del Tigris superior se lo conocía como “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, paso a latín y más adelante, al francés (asphalte), el español (asfalto) y al inglés (asphalt).

AÑO	USO
6000 A. C.	Se lo emplea en la industria de la navegación en Sumeria habían utilizado como mastic de asfalto para la construcción, se utilizaba en la pega de ladrillos, pavimentos interiores y revestimiento impermeable y se lo uso también como montero para la construcción de la Torre de Babel.
3200 - 2600 A.C.	Se emplea Betún como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, los árabes lo usaron para tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico para impermeabilizar en Egipto.

AÑO	USO
2600 - 540 A.C.	Se emplea en Mesopotamia y el Valle del Indo el uso del asfalto en excavaciones arqueológicas como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 A.C.	Se emplea asfalto ampliamente en Egipto para embalsamamientos.
1802 D.C.	Se emplea la roca asfáltica para la pavimentación de suelos, puentes y aceras en Francia.
1838 D.C.	Se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras en Filadelfia.
1870 D.C.	Se emplea en la primera construcción de pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, química belga.
1876 D.C.	Se emplea en la primera pavimentación de tipo Sheet Asphalt en Washington D.C. con asfalto de lago importado.
1902 D.C.	Se obtiene de la destilación del petróleo aproximadamente 120.000 barriles al año en Estados Unidos.

Fuente: Autor

Tabla 1: Historia del Asfalto.

2.1.2 Historia del Caucho SBR

El caucho SBR es un compuesto sintético o natural, sugeridos a mediados del siglo diecinueve desarrollándose a base de su transformación (caucho, seda, algodón, etc...).

AÑO	USO
1839	Se creó con el vulcanizado de caucho, elaborado por charles Goodyear
1846-1868	Se desarrollaron formas de sintetizar celuloide a partir del Nitrato de Celulosa. También surgieron el Poliestireno y el Policloruro de Vinilo.
1911-1912	Los SBR fueron sustituidos del caucho y se usaron para la creación de objetos y utensilios de la vida cotidiana, fue el Metacrilato de Metilo Polimerizado (Plexiglás) que lo usaron como sustituto del cristal, el teflón y el nailon.
1926	El Alemán Hermann Staudinger expuso su teoría de los SBR, Fundamento a la Química Macromolecular.
Durante la Posguerra hasta la Actualidad	Se ha desarrollado nuevos SBR como el Polietileno o el Polipropileno, polímeros más usados en la Actualidad

Fuente: Autor

Tabla 2: Historia del caucho SBR

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Mezcla Asfáltica

Una mezcla asfáltica es una combinación de agregados gruesos y finos más una proporción de asfalto convencional modificado con caucho SBR, es decir, es una mezcla generalmente cerrada y diseñada para resistir desgaste por abrasión y desintegración por efecto ambiental, que debe cumplir ciertas características relacionadas con la densidad de la mezcla, vacíos de aires (VA), vacíos en el agregado mineral (V.A.M) y contenido de asfalto.

Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío siendo más comunes las primeras. En una mezcla asfáltica en caliente usando caucho

SBR, cualquiera que sea el método empleado en su dosificación, se deben aplicar criterios técnicos que permitan obtener una proporción de agregados ligantes de asfalto caucho SBR, para tener una carpeta asfáltica con una estabilidad mínima necesaria para resistir a la acción del tránsito en las condiciones más desfavorables.

Otro de los aspectos fundamentales de estas mezclas asfálticas a considerar son las condiciones de vacíos, por cuanto es necesario conocer la cantidad de asfalto absorbido por los agregados pétreos, especialmente en aquellos con porosidad apreciable.

2.2.2 Variables a considerar en la mezcla asfáltica

Entre las principales variables a considerar para una mezcla asfáltica adecuada se tienen que considerar las siguientes:

- a) Cumplir con las características físicas, reológicas y mecánicas que como consecuencia se han especificado para las mismas como la estabilidad, la fluencia, por cientos de vacíos de la mezcla, por cientos de vacíos del agregado pétreo, densidad; estas corresponden a grupos de las variables dependientes.
- b) Utilización de la capa asfáltica (carreteras, calles urbanas, pistas de aeropuertos, playas de estacionamiento de vehículos) etc.
- c) Tipo, espesor y textura superficial de la capa asfáltica (capa superficial, capa de nivelación)
- d) Características del tránsito (tipo, intensidad y frecuencia de las cargas del tránsito).
- e) Condiciones climáticas a las que estará sometida la mezcla asfáltica.

Las variables mencionadas anteriormente, dependen de otros grupos llamadas variables independientes, tales como: granulometría, por ciento de

asfalto, tipo y proporción de caucho SBR, tipo de asfalto, tipo de áridos, temperatura de fabricación y compactación.

2.2.3 Asfalto

El Asfalto es un material encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o en la destilación de Crudo del Petróleo. Este, es una sustancia de coloración negra, pegajosa, solida o semisólida según la variación de temperatura en el ambiente, es por ello que cuando se lo calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, permitiendo con esto cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla que se va a producir en esta investigación.



Fuente: Autor

Figura 1: Asfalto que se usó en los diseños de mezcla.

2.2.4 Caucho SBR

Actualmente, el caucho SBR han desarrollado su uso, incrementándose en distintas aplicaciones a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta

resistencia mecánica y otras propiedades importantes. En esta investigación se usó el Caucho SBR estando compuesto por Estireno – Butadieno – Látex.



Fuente: Autor

Figura 2: Caucho SBR que se usó en los diseños de mezcla.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Principales Pruebas para Mezclas Asfálticas

Las principales pruebas que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

ESTABILIDAD MARSHALL:	Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones y que depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión
FLUENCIA MARSHALL:	Es la reducción del diámetro de la probeta, expresada en cm, en el momento de alcanzar la carga máxima y en la dirección de esta.
DURABILIDAD:	Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.
FLEXIBILIDAD:	Capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.
RESISTENCIA A LA FATIGA:	Capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO:	Cualidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje.
IMPERMEABILIDAD:	Resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.
TRABAJABILIDAD:	Facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

Fuente: Autor

Tabla 3: Principales Propiedades para Mezclas Asfálticas.

2.3.2 Principales Componentes de la Mezcla Asfáltica.

Los principales componentes de la Mezcla Asfáltica son:

CAUCHO:	Es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica
CAUCHO NATURAL:	El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas.
CAUCHO SINTETICO:	El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. El caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados.
CAUCHO RECICLADO DE LLANTA (CRLI):	El CRLI es obtenido de las llantas en desuso de los automotores, las cuales, de otra manera, no tendrían un destino diferente al de los sitios dispuestos como rellenos municipales o simplemente basureros a cielo abierto, cumpliendo un importante y peligroso papel en la creciente contaminación ambiental que nos afecta actualmente.
COMPOSICION QUIMICA DE LAS LLANTAS:	La llanta está compuesta principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por un grupo de compuestos químicos de elevado peso molecular entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estireno-butadieno, todos basados en hidrocarburos.

Fuente: Autor

Tabla 4: Principales Componentes de la Mezcla Asfáltica.

2.3.3 Principales Propiedades del Asfalto

Las principales propiedades que contribuyen al Asfáltico son:

<p>DENSIDAD DE LA MEZCLA:</p>	<p>La densidad de la mezcla compactada está definida como la masa de un volumen específico de la mezcla.</p> <p>La densidad es una característica muy importante en el control de calidad, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento. A veces exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).</p>
<p>VACIOS DE AIRE (VA):</p>	<p>Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsa de aire que están presentes en los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduada contengan ciertos porcentajes de vacíos para permitir alguna compactación adicional por efecto del tráfico y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esa compactación adicional.</p>
<p>VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM):</p>	<p>Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.</p> <p>El VAM representa el espacio disponible para acomodar el "Volumen efectivo de asfalto" y el volumen de vacíos en la mezcla.</p>

Fuente: Autor

Tabla 5: Principales Propiedades del Asfalto.

2.3.4 Principales Propiedades del caucho SBR

Las principales propiedades que contribuyen al caucho SBR son:

<p>MECANICAS:</p>	<p>Exelente resistencia a la abracion y al impacto y moderara resistencia al desgarro y la flexion</p>
<p>FISICAS:</p>	<p>Exelente resistencia electrica, baja resistencia al interperie (ej oxidacion ozono y luz solar) y muy baja permeabilidad a los gases</p>

QUIMICAS:	Buena resistencia al agua pero pobre resistencia al vapor, no posee resistencia a los hidrocarburos (alifáticos, aromáticos y clorados)
Proporción de Caucho:	<p>La proporción de caucho depende del tamaño de las partículas y del tipo de aplicación en que será usado el cemento asfalto-caucho, pudiendo variar de 5 a 26%, eligiendo a usar un 10,15 y 20%.</p> <p>La proporción óptima, en carnadas de revestimiento densas (granulometría cerrada), es de cerca de 5% de caucho pasado en la malla No. 50 (0,300mm), en cuanto que en carnadas de revestimiento con granulometría abierta el valor más citado en la literatura técnica es de 12 % de caucho pasado en la malla N° 30 (0,42mm).</p> <p>En aplicaciones de cemento asfalto – caucho entre el pavimento existente y la carnada de refuerzo, se puede adoptar proporciones más elevadas, de hasta 20% de caucho pasado en la malla N° 10. En este trabajo, son consideradas las proporciones de 6, 12, 18 y 24% de caucho.</p>
Composición Química:	<p>El asfalto está compuesto por una combinación de hidrocarburos, lo que le da sus propiedades y comportamiento característico. Los componentes principales son el carbono y el hidrógeno, teniendo en menor medida azufre y pequeñas trazas de oxígeno, nitrógeno y metales como el vanadio y el níquel.</p> <p>Si el asfalto se coloca en un solvente no polar como el pentano, hexano o heptano, es posible dividir este elemento en dos grandes mezclas complejas.</p> <p>La fracción insoluble son los asfáltenos y estos le dan al asfalto su color y dureza (similar a un polvo grueso de grafito). Por otro lado está el grupo soluble denominado máltenos; estos son líquidos viscosos compuestos de resinas, parafinas y aromáticos que le dan las cualidades adhesivas (pegajosidad) y de aceites que sirven como medio de transporte de estos elementos. De aquí, la clasificación cromatográfica llamada SARA (saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos).</p> <p>La proporción de asfáltenos y máltenos puede variar dentro de la composición y actualmente no se tiene ninguna prueba de la estructura que toman estos elementos en el asfalto, debido principalmente a que la composición química y su comportamiento final es todavía incierto. Sin embargo, se tienen dos consideraciones principales.</p>

Composición Física:	La razón por la que el asfalto sea el principal material de uso en la construcción de carreteras es su gran versatilidad, siendo las características de mayor importancia las descritas a continuación.
Durabilidad:	Esta propiedad se determina ya en el uso final del asfalto, indica qué tanto puede mantener un asfalto las propiedades originales. Adhesión y Cohesión: Es la capacidad que tiene el asfalto de cumplir su función de unión de los agregados en la mezcla de pavimentación. Al usar el asfalto en carreteras, es de gran importancia que se produzca una cohesión efectiva de los agregados y lograr que éstos se mantengan firmes sin cambiar de posición.
Susceptibilidad a la Temperatura	En general todos los asfaltos presentan un gran cambio en su viscosidad con el cambio de temperatura, es decir, volverse más fluidos o blandos con el aumento de la temperatura. Esta sensibilidad varía entre asfaltos de diferente origen, aún si tienen el mismo grado de consistencia.
Endurecimiento y Envejecimiento	El asfalto sufre un proceso muy importante llamado oxidación que produce un endurecimiento en el mismo a medida que es expuesto al aire. No todos los asfaltos sufren el mismo grado de endurecimiento con el tiempo, depende de la composición que cada tipo de asfalto.

Fuente: Autor

Tabla 6: Principales Propiedades del caucho SBR).

2.3.5 Reseña de los Métodos de diseño de mezcla asfáltica

The Hubbard – Field (1920`s)	Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usada una estabilidad como prueba para medir la deformación, funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregados pequeños o granulometría fina pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
------------------------------	--

Método Marshall (1930's)	Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la segunda guerra mundial y después fue adoptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentales. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.
Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS(1987)	La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia las grietas a baja temperatura.
Método Superpave	Iniciando el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar: analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Incluye una especificación para cementos asfálticos , un diseño y sistema de análisis de mezclas asfálticas ; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento , incluye una especificación para cementos asfálticos , un diseño y sistemas de análisis de mezclas asfálticas en caliente y un software para computadora que integra los componentes del sistema , las especificaciones del cemento y el sistema de diseño del Superpave incluyen varios equipos y métodos de pruebas , junto con criterios para los mismos .

Fuente: Autor

Tabla 7: Reseña de los Métodos de Diseño de Mezcla Asfáltica.

2.3.6 Métodos de Marshall para Diseño Caliente en Mezcla Asfáltica

Especímenes de Prueba Estándar	El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro, se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto –agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad –análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y el flujo de los especímenes compactados.
--------------------------------	---

Estabilidad de Especímenes de Prueba Estándar	La estabilidad de los especímenes de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que en los especímenes estándar desarrollará a 60°C cuando es ensayada, el valor del flujo es el movimiento total o deformación en unidades de 0.25 mm (1/100mm) que ocurre en los especímenes entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.
Grafica Semi logarítmica	El Método Marshall utiliza una gráfica semi-logarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm graficadas en forma logarítmica.
Curva Granulométrica	La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica 2.
Selección de Contenido	La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios, un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%, todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas, si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá al diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Fuente: Autor

Tabla 8: Método de Marshall para Diseño Caliente en Mezcla Asfáltica.

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas, las cuales son:

- Determinar de la gravedad específica
- Prueba de estabilidad y flujo
- Análisis de densidad y vacíos

2.3.7 Influencia del CRLI en el Asfalto Modificado

El caucho de llanta se ha convertido en un elemento útil y económico en la elaboración de mezclas asfálticas gracias al creciente aumento de llantas desechadas en áreas metropolitanas. Algunas ventajas del uso del CRLI en las mezclas asfálticas se presentan a continuación:

VENTAJAS
1. Disminuye la susceptibilidad térmica: se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento y se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
2. Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
3. Mayor elasticidad: debido al Caucho SBR de cadenas largas.
4. Mayor adherencia: debido al Caucho SBR de cadenas cortas.
5. Mayor cohesión: al Caucho SBR refuerza la cohesión de la mezcla.
6. Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del Caucho SBR o de los aditivos incorporados para el mezclado.
7. Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos se absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
8. Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el Caucho SBR.
9. Mayor durabilidad: los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
10. Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
11. Fácilmente disponible en el mercado.
12. Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
13. Mayor resistencia al derrame de combustibles.
14. Reduce el costo de mantenimiento.
15. Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
16. Aumenta el módulo de la mezcla.
17. Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
18. Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
19. Permite un mejor sellado de las fisuras.
20. Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.
21. No requieren equipos especiales.

22. No presenta solubilidad, a diferencia del caucho natural este no cambia dentro del cemento asfáltico al ser sobre calentado. Al ser mezclado con el cemento asfáltico a altas temperaturas atrae componentes livianos de este último hasta producir una partícula hinchada que se enlaza dentro de la matriz del ligante, generando un manto asfalto- caucho más resistente al fisuramiento.

Fuente: Autor

Tabla 9: Ventajas del Uso Del CRLL En Las Mezclas Asfálticas

2.4 Marco Legal

2.4.1 Normativas de Referencias para el Hormigón Asfáltico.

Los agregados y el betún asfáltico que se utilizan para la fabricación de hormigón asfáltico empleado en una planta asfáltica o equipo semejante, deberá cumplir con las normas técnicas que constan en el Manual de **NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 - 2013** “y las del **INSTITUTO DEL ASFALTO PARA MEZCLAS EN CALIENTE**.

2.4.2 Utilización de las Normas INEN Ecuatorianas dentro de las Mezclas Asfálticas Modificada en la Pavimentación de la Red Vial Nacional.

Los requisitos y Métodos de Ensayo que establece la norma, que se debe cumplir en las mezclas de diseño de asfalto – caucho, empleando los requisitos para el ligante asfáltico – caucho dentro de su uso en la construcción y mantenimiento de pavimentos. Según lo establece la norma NTE- INEN 2015, consiste en una mezcla de cemento asfálticos que cumpla con los requisitos del caucho de los neumáticos reciclados (es decir, del caucho vulcanizado) y otros aditivos. Cubre los requisitos para el Ligante Asfalto – Caucho, que, según sea necesario, para uso en la construcción y mantenimientos de pavimentos.

Requisitos que debe cumplir las Mezclas de Asfalto

Se ha comprobado que al menos el 15 % en peso de caucho de la 1 mezcla total generalmente es necesaria para proporcionar aceptables propiedades en la mezcla de asfalto - caucho.

METODO DE ENSAYO:
El asfalto utilizado para la mezcla debe cumplir con los requisitos establecidos en las normas NTE –INEN 2515.
CAUCHO RECICLADO DE NEUMATICO Debe contener menos del 0.75 % de humedad en peso y de libre flujo. La gravedad especifica del caucho debe ser de 1.15 +-0.05. El caucho reciclado de neumático no debe contener partículas visibles de metales no ferrosos y no más de 0.01% en peso de partículas de metales ferroso. Como el ligante en mezclas caliente, el contenido de fibra no debe sobrepasar 0.5% en peso de caucho reciclado de neumáticos. Sin embargo, para su uso en ligantes para aplicaciones mediante aerosoles, el contenido de fibra no debe sobrepasar 0.1% en peso, hasta el 4% en peso del polvo mineral (como el talco) se permite para evitar que se pegue o aglomeren las partículas de caucho. Puede contener otros materiales contaminantes extraños que debe ser inferior al 0,25% en peso.
2 Otros contaminantes extraños se incluyen, pero no se limitan a materiales como: el vidrio, arena, madera, etc.
RECOMENDACIONES:
Se recomienda que todas las partículas de caucho tengan un tamaño capaz de pasar a través del tamiz de 2,36 mm [No. 8] según norma NTE INEN 154. La gradación del caucho debe acordarse entre el comprador y proveedor de asfalto - caucho para las aplicaciones específicas de una mezcla
Se ha encontrado que la gradación del caucho puede afectar las 3 propiedades físicas y el rendimiento de las mezclas calientes del pavimento usando una mezcla de asfalto caucho
METODO DE ENSAYO:
MEZCLA ASFALTO - CAUCHO También conocido como el proceso mojado, A-R es definido por la Sociedad americana para Probar Materiales (ASTM) D8-88 como: "una mezcla de cemento de asfalto, partículas de caucho de neumático, y ciertos aditivos en los cuales el componente de goma es al menos el 15 % por el peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento de asfalto caliente suficientemente para causar el hinchazón de las partículas de goma". Sin embargo, la práctica común en Arizona, California, y Texas es usar el caucho de al menos el 18%. El asfalto-caucho es una mezcla interactuada entre el cemento asfáltico usando en pavimentación, y el caucho de los neumáticos reciclados.

Fuente: Autor

Tabla 10: Requisitos y Métodos de Ensayo que deben cumplir las Mezclas de Asfalto.

REQUISITOS	UNIDAD		DESIGNACION DE MEZCLAS A			METODO DE ENSAYO
			TIP O I	TIP O II	TIPO III	
Viscosidad aparente ^{bc} a 175C	Pa.s	Min	1.5	1.50	1,5	ASTM D2196, Método A. Modificado
		Max	50	50	50	
Penetración a 25 C, a 100 g.5s	1/100 mm	Max	25	25	50	NTE INEN 917
		Min	75	75	100	
Penetración a 4 C, a 200 g.60s	1/100 mm	Min	10	15	25	NTE INEN 917
Punto de reblandecimiento	°C	Max	57	54	52	NTE INEN 920
Resiliencia a 25 C	%	Min	25	20	10	ASTM D5329
Punto de inflamación	°C	Min	232	232	232	NTE INEN 80 8
Residuo de película delgada al horno °	-----	-----	-----	-----		ASTM D 1754
Retención de penetración, 4C % ORIGINAL	1/10 mm	Min	75	75	75	NTE INEN 917

NOTA 1.- A Consulte el Apéndice Y de lineamientos climáticos recomendados para su uso.

B Para cualquier lectura del viscosímetro Brookfield se puede utilizar un reporte de medición de pico. Para modelos de la serie LV, utilizar husillo 3 a 12 revoluciones por minuto. Para RV y los modelos de la gama HA, utilizar husillo 3 a 20 revoluciones por minuto.

C Viscosímetros de rango de rotación alta tipo Rion o Haake también se puede utilizar (con Rotor N ° 1) cuando se Brookfield es el método dirimente.

D Los residuos RTFO (Ver ASTM D 2872) pueden ser sustituidos por residuos TFOT, excepto para casos de litigio donde el TFOT es el método de referencia.

REQUISITOS	UNIDAD	DESIGNACION DE MEZCLAS A			METODO DE ENSAYO
		TIP O I	TIP O II	TIPO III	
NOTA 2 .- Otros contaminantes extraños se incluyen, pero no se limitan a materiales como: el vidrio, arena, madera, etc.					
NOTA 3 .- Se ha encontrado que la gradación del caucho puede afectar las propiedades físicas y el rendimiento de las mezclas calientes del pavimento usando una mezcla asfalto-caucho.					

Fuente: Autor

Tabla 11: Requerimientos Físicos para las Mezclas de Asfalto – Caucho.

2.5 Hipótesis

Al obtener resultados positivos en la elaboración del pavimento asfáltico con caucho SBR , no solamente contribuiremos con el problemas ambiental sino que se logrará disminuir su costo al reemplazar parte del asfalto con el caucho SBR..

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Diseño de la Investigación

La metodología por aplicar en la experimentación es la reducción en un 5%, 15% y 20% de cemento asfáltico, en la mezcla asfáltica convencional, para usar como remplazo Caucho SBR más asfalto sin alterar su peso original; creando una nueva mezcla asfáltica concorde a las normas ASTM y AASHTO. Entre los materiales a usarse están:

- Agregados finos de la cantera Tierra Blanca
- Agregados gruesos de la cantera Tierra Blanca
- Asfalto de la empresa Inductroc
- Caucho SBR de Recicaucho S.A.

Las mezclas y los ensayos serán realizados en el Laboratorio de Comportamiento de Materiales de la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala.

Para el diseño de las mezclas asfálticas con Caucho SBR se utilizará el Método Marshall. Este método permite obtener el contenido óptimo del asfalto para una combinación específica de agregados. Una vez realizadas las mezclas experimentales, se procederá a evaluar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y reológicas de las mismas mediante los siguientes ensayos preliminares:

- Análisis Granulométrico
- Faja granulométrica del instituto del Asfalto
- Densidades de los materiales (BULK)
- Diseño de la mezcla bituminosa
- Gravedad máxima medida (RICE)
- Peso específico del AP3

- Ensayo de penetración del AP3
- Dureza del AP3
- Porcentaje de vacíos
- Flujo
- Graduación de los materiales aplicado las curvas granulométricas
- Abrasión
- Estabilidad
- Dosificación de mezclas asfálticas utilizando Caucho SBR

En esta investigación se tomó como referencia un diseño patrón siendo la mezcla asfáltica convencional de tráfico pesado, optimizando la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos cumpliendo con la especificación MOTP-001-F-2002.

De la misma manera es un estudio experimental, donde se comenzará a plantear parámetros que necesitamos para la investigación.

3.2 Población y Muestra

Para la investigación , la muestra que establece la población son diseños de mezclas asfálticas usando Caucho SBR, se tomarán de tipos de agregados, que correspondieron a muestras por cada uno de los tamaños seleccionados para el ensayo, así mismo con el asfalto y el Caucho SBR para así comprobar sus propiedades físicas mecánicas y luego con los resultados obtenidos de las granulometrías, se determina mediante tanteos, la curva de la faja granulométrica, cumpliendo con las normas del instituto de asfalto.

El 1% es el diseño de la mezcla asfáltica, separando sus componentes mediante los porcentajes de agregado

El Porcentaje Total es 1%

El % de los agregado aumenta conforme disminuye el cemento asfáltico

Los agregados son:

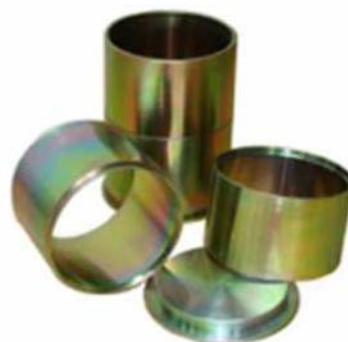
MATERIAL	PORCENTAJE					
Cemento Asfalt.	0,050%	0,055%	0,060%	0,065%	0,070%	0,075%
Piedra 3/4"						
Piedra 1/2"	0,950%	0,945%	0,940%	0,935%	0,930%	0,925%
Cisco						
Arena						
TOTAL	1,000%	1,000%	1,000%	1,000%	1,000%	1,000%

MUESTRA	MUESTRA PATRON	DISEÑO EXPERIMENTAL ASFALTO + POLIMERO=ASFALTO MUESTRA PATRON (KG)							
		ASFALTO		10%		15%		20%	
		%	KG	ASFALTO	POLIMERO	ASFALTO	POLIMERO	ASFALTO	POLIMERO
1	0,05	75	67,5	7,5	63,75	11,25	60	15	
2	0,055	82,5	74,25	8,25	70,13	12,38	66	16,5	
3	0,06	90	81	9	76,5	13,5	72	18	
4	0,065	97,5	87,75	9,75	82,88	14,63	78	19,5	
5	0,07	105	94,5	10,5	89,25	15,75	84	21	
6	0,075	112,5	101,25	11,25	95,63	16,88	90	22,5	

Fuente: Autor

Figura 3: Diseño de la Mezcla Asfáltica usando Caucho SBR.

Para la elaboración de las briquetas en cada molde, se colocarán entre 1000 y 1500 gramos de mezcla. Por lo general el peso de material que se usa en las briquetas es de 1200 gramos y la diferencia se usa en ensayo densidad bulk (masa unitaria suelta y compactada) de los agregados gruesos y finos



Fuente: Autor

Figura 4: Briquetas Cilíndricas.

Para determinar la proporción a usar, nos basamos en la tabla 5 que adjunto a continuación:

MATERIAL	PORCENTAJE %					
Cemento Asfáltico	5,0	5,5	6,0 →	6,5	7,0	7,5
Piedra 3/4"	95,00	94,50	94,00 ←	93,50	93,00	92,50
Piedra 1/2"						
Cisco						
Arena						
TOTAL	100	100	100	100	100	100



Fuente: Autor

Tabla 12: Proporción de la Mezcla.

El Diseño Asfáltico a utilizar para realizar la mezcla asfáltica convencional para tráfico pesado, utilizaremos como base este diseño patrón en la tabla 6, para los siguientes ensayos.

MUESTRA #	PIEDRA 3/4	PIEDRA 1/2	CISCO	ARENA	ASFALTO	
	KG	KG	KG	KG	%	KG
1	285,00	427,50	356,25	356,25	5,00	75,00
2	283,50	425,25	354,38	354,38	5,50	82,50
3	282,00	423,00	352,50	352,50	6,00	90,00
4	280,50	420,75	350,63	350,63	6,50	97,50
5	279,00	418,50	348,75	348,75	7,00	105,00
6	277,50	416,25	346,88	346,88	7,50	112,50

Fuente: Autor

Tabla 13: Mezcla Asfáltica Convencional.

Para determinar el porcentaje de Caucho SBR que se debe añadir en el asfalto por proceso húmedo, sin alterar el porcentaje de asfalto, ni diseño asfáltico patrón; se determinó mediante el siguiente procedimiento detallado en la Figura 7:

MUESTRA	MUESTRA PATRON		DISENO EXPERIMENTAL					
			ASFALTO + CAUCHO SBR=ASFALTO MUESTRA PATRON					
			(KG)					
	ASFALTO		10%		15%		20%	
	%	KG	ASFALTO	CAUCHO SBR	ASFALTO	CAUCHO SBR	ASFALTO	CAUCHO SBR
1	5,00	75,00	67,50	7,50	63,75	11,25	60,00	15,00
2	5,50	82,50	74,25	8,25	70,13	12,38	66,00	16,50
3	6,00	90,00	81,00	9,00	76,50	13,50	72,00	18,00
4	6,50	97,50	87,75	9,75	82,88	14,63	78,00	19,50
5	7,00	105,00	94,50	10,50	89,25	15,75	84,00	21,00
6	7,50	112,50	101,25	11,25	95,63	16,88	90,00	22,50

Fuente: Autor

Tabla 14: Asfalto + Caucho SBR.

3.3 Instrumentos de recolección de datos

Para determinar el contenido óptimo de asfalto con Caucho SBR, se aplica en el laboratorio el método Marshall, donde se debe contar con el equipo de laboratorio necesario, para el cumplimiento de las normas, lo he clasificado en 3 fases:

3.3.1 Fase1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.

- a) Muestreo del agregado mineral (AASHTO T 2, ASTM D 75).
- b) Ensayo de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos (ASTM C 128).

- c) Ensayo normalizado para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos (ASTM C 127).
- d) Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T 27, ASTM C 136).
- e) Análisis granulométrico de los agregados finos (AASHTO 11, ASTM C 117).
- f) Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles (AASHTO T 96, ASTM C 131).

AASHTO	ASTM	Descripción del ensayo
AASHTO T 2	ASTM D 75	Muestreo del agregado mineral.
	ASTM C 128	Ensayo de Densidad, Densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados finos.
	ASTM C 127	Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.
AASHTO T 27	ASTM C 136	Análisis granulométrico de los agregados.
AASHTO 11	ASTM C 117	Análisis granulométrico de los agregados finos.
AASHTO 176	ASTM D 2419	Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregado fino.
AASHTO T 96	ASTM C 131	Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles.

Fuente: Autor

Tabla 15: Normas AASHTO y ASTM aplicables para los asfaltos.

3.3.2 Fase 2: Determinación de las propiedades mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.

- a) Penetración (AASHTO T 49, ASTM D 5).
- b) Gravedad Específica (AASHTO T 228, ASTM D 70).

ENSAYOS	AASHTO	ASTM
Penetración	T-49	D-5
Gravedad Especifica	T-228	D-70

Fuente: AVELLAN, M. (2007)

Tabla 16: Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados.

3.3.3 Fase3: Determinación de las propiedades reológicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.

- Porcentaje de mezcla de agregados.
- Medir gravedad específica del agregado grueso (ASTM C 127).
- Medir gravedad específica del agregado fino (ASTM C 128).
- Medir gravedad específica del cemento asfáltico (ASTM C 70).
- Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D 1188, ASTM D 2726).

Porcentajes de mezcla de agregados.

Medir Gravedad Específica del agregado grueso (ASTM C 127).

Medir Gravedad Específica del agregado fino (ASTM C 128).

Medir Gravedad Específica del Cemento Asfáltico (ASTM D 70).

Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D 1188 – ASTM D 2726)

Fuente: Autor

Tabla 17: Requerimientos para diseño de Carpeta Asfáltica.

3.4 Técnicas de investigación

El pavimento flexible elaborado con el asfalto es una estructura formada por varias capas de material seleccionado (sub-base, base y la capa de rodadura o la carpeta asfáltica). El propósito fundamental de esta estructura es la de resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito, un pavimento de asfalto debe estar conformado de tal manera que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado, y a la vez, se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción del tránsito. Para que esto no ocurra cada una de las capas debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas transmitidas por el tránsito. Tener la impermeabilidad necesaria, el pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. De esto se deduce que siempre será buena práctica constructiva el que se cuente con suficiente drenaje al proyectarse un pavimento, ya que, junto a la impermeabilidad necesaria del pavimento en sí, redundará en una obra estable.

Resistir la acción destructora de los vehículos, la acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. También el tránsito provoca cierta acción de molienda y amasado en la superficie de su rodamiento. Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

Los agregados estarán compuestos por partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena. De tal manera que se cumplan los requisitos de graduación que se establece en las especificaciones según corresponda y se clasifican de acuerdo a lo establecido a continuación:

Agregados Tipo A.- Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración, el agregado fino puede ser arena natural o material triturado y de requerirse, se puede añadir relleno mineral que cumpla con las exigencias de graduación, éste relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland.

Agregados Tipo B.- Son aquellos en los cuales por lo menos el 50 % de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de materiales en la zona.

Agregados Tipo C.- Son aquellos que provienen de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad medida en el ensayo Marshall se encuentre dentro de los límites fijados en las especificaciones.

Los agregados serán fragmentos limpios, resistentes y duros, libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas o desintégrales, así como de material mineral cubierto de arcilla o de otro material inconveniente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES.

Los agregados deben cumplir las siguientes exigencias:

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste del más del 40 % en el ensayo de abrasión de la máquina los ángeles.

La porción de los agregados que pasa el tamiz No 40 deberá tener un índice de plasticidad IP 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 someta a cinco ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio durante la prueba de durabilidad, tal como lo dispone la norma INEN 863.

Los agregados serán de características tales que, al ser impregnados con material bituminoso, más de un 95 % de éste material bituminoso permanezca impregnando las partículas luego de realizar el ensayo de resistencia a la peladura, según la norma AASHTO T 182. El relleno mineral deberá cumplir los requisitos especificados en la norma AASHTO M-17.

Método Marshall para el Diseño de Mezcla Asfáltica.

El método emplea muestras (briquetas) normalizadas para ensayos de 2 ½ pulgadas de altura por 4 de diámetro, las cuales se preparan siguiendo un procedimiento especificado para calentar, mezclar y compactar las mezclas de agregados y cemento asfáltico en dosificaciones establecidas.

El ensayo Marshall se emplea para dosificar mezclas en caliente de agregados pétreos y cemento asfáltico con o sin la adición de sellante mineral. El método puede utilizarse tanto para diseños en laboratorio como para controles de campo. El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico de la mezcla, en la que se asegure que está presente:

- Suficiente estabilidad como para satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una eficiente colocación de la mezcla con que se pavimentará, sin que se produzca segregación.
- Suficientes vacíos con aire en la mezcla compactada, para proveer una reserva de espacio que impida exudaciones y pérdidas de estabilidad al producirse una pequeña compactación adicional bajo las cargas del

tránsito, como los posibles aumentos de volumen del asfalto a altas temperaturas.

Las dos características del ensayo son: el análisis de la relación de vacíos y una prueba de estabilidad y flujo.

Parámetros de Diseño.

Estabilidad. - Estabilidad es la máxima resistencia a la carga que soporta una muestra normalizada a 60° C.

Fluencia. - Es la deformación total que se produce en la muestra, desde una carga de valor cero hasta el valor de la carga máxima.

% de Vacíos en la Mezcla Compactada. - El porcentaje de vacíos ó huecos puede calcularse conociendo la densidad de las probetas compactadas, el peso específico de los agregados y del asfalto.

Para calcular el % de vacíos, debe determinarse primero la densidad máxima teórica de la mezcla. Este valor es la densidad que se lograría si la probeta pudiera compactarse hasta formar una masa sin vacíos.

Densidad de la Mezcla Compactada. - Densidad o peso unitario de una mezcla asfáltica compactada se determina para obtener un punto de partida para calcular el porcentaje de vacíos y vacíos rellenos de asfalto, se usa para controlar el grado de compactación durante la construcción del pavimento.

Determinación del Contenido de Asfalto de la Mezcla. - Se determina por medio de la extracción del asfalto de la mezcla utilizando para ello una máquina centrífuga que lo separa de los áridos por efecto de la acción de un solvente (gasolina).

La diferencia entre el peso original de la mezcla asfáltica y el peso de los áridos secos luego de la extracción, se emplea como base para determinar las proporciones relativas de asfalto y áridos.

Una vez que los áridos estén completamente libres de asfalto se pueden realizar con ellos ensayos granulométricos para verificar los porcentajes de material pasante en cada uno de los tamices.

Descripción del Método.

Deberán prepararse tres muestras para cada combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico elegido. Tanto los asfaltos como los agregados deberán cumplir individualmente las especificaciones correspondientes a ellos.

Generalmente se emplean para el diseño por lo menos cinco porcentajes diferentes de cemento asfáltico, por lo que se deduce que es necesario elaborar, por lo menos quince muestras para el ensayo.

Se acostumbra a comenzar desde 4.5 % ó 5.0 %, como contenido inicial de cemento asfáltico con respecto del peso de la mezcla total, elaborándose los juegos de probetas con incrementos de 0.5 %, hasta llegar a un 7.0 u 8.0 %.

Los agregados muy porosos requieren elevados contenidos de cemento asfáltico, por lo que al ensayarlos es conveniente comenzar con porcentajes más elevados.

En primer término, los agregados se combinan por los métodos antes anotados hasta que dicha combinación cumpla la especificación técnica requerida en función del tamaño máximo nominal establecido y se secan a 110° C hasta llegar a peso constante.

Como se podrá entender son posibles varias combinaciones que se ajusten a la banda de la especificación técnica, sin embargo, habrá que escoger de ser posible aquella en que los porcentajes pasantes se ajusten más al promedio de los valores dados por la norma técnica.

La combinación resultante de la mezcla calculada de los agregados que se utilizarán en el diseño de la mezcla se muestra en la curva granulométrica siguiente, en donde se detalla los rangos que exige la norma técnica, en

función del tamaño máximo nominal del agregado, que en nuestro caso es de 3/4".

Una vez establecida la combinación de los agregados y los porcentajes del cemento asfáltico, se procede a la mezcla de los materiales.

La temperatura a la cual debe calentarse el cemento asfáltico para producir viscosidades adecuadas debe establecerse como la ideal para la mezcla. La temperatura de los agregados al momento de la mezcla en caliente, deberá superar en 20° C a la del cemento asfáltico. Si es mayor puede alterar las características del asfalto, mientras que, si es muy baja, la cobertura del asfalto sobre los agregados no será la mejor. La mezcla debe realizarse lo más rápido posible a fin de evitar disminuciones perjudiciales de temperatura.

Inmediatamente que se haya realizado la correcta mezcla de los materiales, se procede a depositar cuidadosamente en los moldes con su collarín y se compacta dando 75 golpes de pisón (a caída libre y a cada lado de la briqueta), según se especifique en función del tráfico de diseño, sea liviano, medio ó pesado. Una vez enfriada la muestra a temperatura ambiente, se pesa y se mide su espesor, el cual debe estar dentro de ciertos rangos, en todo caso, si la diferencia de espesor no es considerable, se puede seguir un procedimiento de corrección establecido en el método, luego cada una de las briquetas construidas se someten a los siguientes ensayos:



Fuente: Autor

Figura 5: Briquetas Construidas

Ensayo de estabilidad y flujo. - Primeramente se lleva la briqueta a un baño de agua a 60°C durante un lapso de 30 a 40 minutos, luego se coloca la misma en la máquina de carga, verificando que los extensómetros y deformímetros usados estén en cero cuando no haya aún carga aplicada.

“Se aplica carga a la muestra a una velocidad de 2 pulgadas por minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define mediante la máxima lectura obtenida en el dial de carga y la cantidad de libras correspondiente se anota como estabilidad Marshall. Mientras se está aplicando la carga, se mantiene el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra guía y se retira cuando ocurra la carga máxima. La lectura en el dial en ese momento, se denomina flujo y se expresa en centésimas de pulgada.”

(Guzman, 2007)

El procedimiento completo, desde que se saca la probeta del baño de agua, hasta que falle en la máquina, no debe durar más de 30 segundos.

Determinación del Peso Específico Bulk. - Es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables.

Análisis de la Densidad y Relación de Vacíos. - Se promedian los pesos específicos bulk de todas las briquetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, descartando aquellas que se alejen demasiado del promedio.

Peso específico máximo (método RICE). - El peso específico máximo de una mezcla asfáltica sin vacíos con aire (no compactada), se determina por medio del método desarrollado por James Rice, y su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada.

Este es el proceso convencional del diseño Marshall lo que se hizo es igual con la mezcla con Caucho SBR y cemento asfáltico se utilizó este método.

Para poder realizar la siguiente investigación, se buscó documentos, informes técnicos, investigaciones y tesis de grado para recolectar la información posible; para recopilar las ideas, objetivos y definir las variables, ventajas, desventajas, aplicaciones y limitaciones que se puedan obtener del estudio hablado. Las técnicas para poder realizar esta investigación mediante procedimientos son siguientes pasos:

- Tema.
- Delimitación del tema.
- Formulación del problema.
- Planteamiento del problema.
- Determinación de los instrumentos de recolección de datos.
- Análisis y comparación de los resultados.
- Comprobación o validación de la hipótesis.
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Este capítulo se lo desarrollará en tres fases como se mencionó en el Capítulo 3 (ver índice 3.3). Concluida estas tres fases, se procederá a analizar y comparar los resultados e interpretación de los mismos.

4.1 Fase1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR

4.1.1 Muestreo del agregado mineral

Con este ensayo, se selecciona los materiales minerales que se usaran para los ensayos antes mencionados. Uso de la norma AASHTO T 2 y ASTM D 75.



Fuente: Autor

Figura 6: Muestreo del Agregado Mineral.



Fuente: Autor

Figura 7: Muestreo del Agregado Mineral.

4.1.2 Ensayo de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos

Con este ensayo, se determina las relaciones de peso y volumen en sus materiales utilizados, aquí se incluye, el volumen de los vacíos entre las partículas de agregados. Uso de la norma ASTM C 127.



Fuente: Autor

Figura 8: Ensayo del peso de la densidad aparente.

4.1.3 Análisis granulométrico de los agregados gruesos.

Con este ensayo, se determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de sus agregados gruesos, mediante su respectivo tamiz. Uso de la norma AASHTO T 27 y ASTM C 136.



Fuente: Autor

Figura 9: Análisis granulométrico de los agregados.

4.1.4 Análisis granulométrico de los agregados finos

Con este ensayo, se determina la cantidad de distribución de los tamaños de sus agregados finos, mediante su respectivo tamiz. Uso de la norma AASHTO 11 y ASTM C 117.



Fuente: Autor

Figura 10: Análisis granulométrico de los agregados finos.

4.1.5 Ensayo de equivalentes de arena de suelo agregado fino

Con este ensayo, se determina la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Uso de la norma AASHTO 176 y ASTM D 2419.

4.1.6 Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles

Con este ensayo, se determina la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina (Máquina de los Ángeles) con una carga abrasiva. Uso de la norma AASHTO T 96 y ASTM C 131.

4.2 Fase 2: Determinación de las propiedades mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR.

4.2.1 Penetración

Con este ensayo, se determina la consistencia mediante las especificaciones basadas en la viscosidad para impedir que sean utilizados cementos asfálticos de valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Siendo aplicable a materiales con viscosidad entre un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo (Pa*s) equivalente a 0.036 a 200,000P. Uso de la norma AASHTO T 49 y ASTM D 5.



Fuente: Autor

Figura 11: Ensayo de Penetración.

4.2.2 Gravedad Específica RICE (AASHTO T 228, ASTM D 70)

Con este ensayo, se determina el peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica), siendo este, la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua, en donde sus características de peso y volumen de los materiales, son primordiales para la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso, Uso de la norma AASHTO T 228 y ASTM D 70.



Fuente: Autor

Figura 12: Ensayo de Gravedad Específica.

4.3 Fase3: Determinación de las propiedades de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas con Caucho SBR

4.3.1 Porcentaje de mezcla de agregados

Con este ensayo, se determina las proporciones relativas de asfalto, agregado y aire, teniendo en cuenta que las tres fases de la mezcla asfáltica, siendo, la sólida que está compuesta por el agregado mineral; la líquida que es el asfalto y por último la gaseosa, que es el aire; siendo poroso debido al agregado mineral forma parte de la mezcla asfáltica y a una parte del asfalto ya que son absorbidos por los poros del agregado, produciendo el asfalto absorbido, que es, una porción del agregado y del asfalto comparten espacio.



Fuente: Autor

Figura 13: Mezcla de Agregados.

4.3.2 Medir gravedad específica del agregado grueso (ASTM C 127)

Se coloca a saturar por 24 horas el material grueso y se realizó utilizando el método de la canastilla.

4.3.3 Medir gravedad específica del agregado fino (ASTM C 128)

Se coloca a saturar por 24 horas el material fino y se realizó utilizando el método de la probeta.

4.3.4 Medir gravedad específica del cemento asfáltico (ASTM C 70)

Este método consistió utilizar un picnómetro y asfalto con Caucho SBR a una temperatura de 25° C y se realizó el ensayo.

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado se necesitará la gravedad específica máxima, G_{mm} , siendo para cada contenido de asfalto calculado el porcentaje de vacíos de aire, mediante la siguiente formula.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Dónde:

Gmm = Gravedad específica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire).

Pmm = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100%

Ps = Contenido de agregado expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla. $P_s = 100 - P_b$

Pb = Contenido de asfalto expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla

Gse = Gravedad específica efectiva del agregado

Gb = Gravedad específica del asfalto

4.3.5 Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D 1188, ASTM D 2726)

Con este diseño, se calcula el agregado total conformado en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y llenante con diferencia de gravedades específicas, la gravedad específica Bulk para el agregado total se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Dónde:

Gsb = Gravedad específica bulk para el agregado total

P1, P2, Pn = Porcentajes individuales por masa de agregado

G1, G2, Gn = Gravedad específica neta individual del agregado

4.4 Diseño muestra asfáltica de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR.

Las tablas 17 y 18 corresponden a las proporciones de los componentes usados en las muestras para la ejecución de los ensayos indicados.

MUESTRA	MUESTRA PATRON		DISEÑO EXPERIMENTAL					
			ASFALTO + CAUCHO SBR=ASFALTO MUESTRA PATRON					
			(KG)					
	ASFALTO		10%		15%		20%	
%	KG	ASFALTO	CAUCHO SBR	ASFALTO	CAUCHO SBR	ASFALTO	CAUCHO SBR	
1	5,00	75,00	67,50	7,50	63,75	11,25	60,00	15,00
2	5,50	82,50	74,25	8,25	70,13	12,38	66,00	16,50
3	6,00	90,00	81,00	9,00	76,50	13,50	72,00	18,00
4	6,50	97,50	87,75	9,75	82,88	14,63	78,00	19,50
5	7,00	105,00	94,50	10,50	89,25	15,75	84,00	21,00
6	7,50	112,50	101,25	11,25	95,63	16,88	90,00	22,50

Fuente: Autor

Tabla 18: Diseño de Muestra Parón y Diseño Experimental

MUESTRA #	PIEDRA 3/4	PIEDRA 1/2	CISCO	ARENA	ASFALTO	
	KG	KG	KG	KG	%	KG
1	285,00	427,50	356,25	356,25	5,00	75,00
2	283,50	425,25	354,38	354,38	5,50	82,50
3	282,00	423,00	352,50	352,50	6,00	90,00
4	280,50	420,75	350,63	350,63	6,50	97,50

MUESTRA #	PIEDRA 3/4	PIEDRA 1/2	CISCO	ARENA	ASFALTO	
	KG	KG	KG	KG	%	KG
5	279,00	418,50	348,75	348,75	7,00	105,00
6	277,50	416,25	346,88	346,88	7,50	112,50

Fuente: Autor

Tabla 19: Diseño de Pe de componentes de Mezcla.

4.5 Comparación entre Peso específico Bulk promedio (% en Densidad Bulk) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR

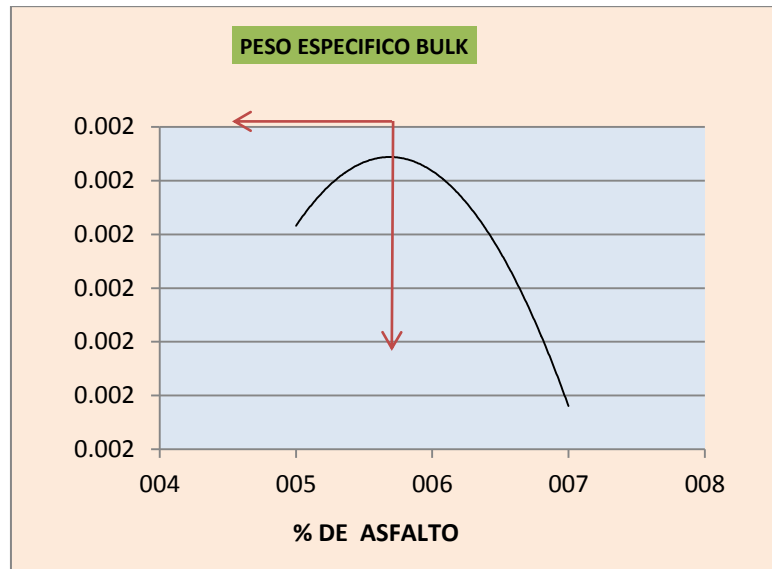
En la siguiente tabla se determina el % de Densidad Bulk para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.

MEZCLA	% ASFALTO	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			
		BULK (PROMEDIO)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	2,244	1,631	1,657	1,634
2	5,5	2,322	1,662	1,66	1,642
3	6	2,352	1,672	1,626	1,726
4	6,5	2,339	1,691	1,697	1,706
5	7	2,315	1,677	1,656	1,714
6	7,5	2,406	1,657	1,624	1,676

Fuente: Autor

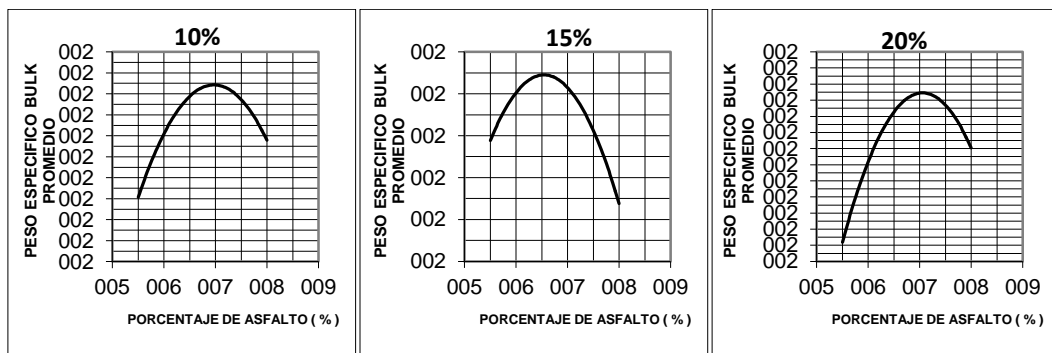
Tabla 20: Comparación de Bulk.

En el siguiente grafico se determina el % de Densidad Bulk para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.



Fuente: Autor

Gráfico 1: Gráficas de Peso Especifico vs. % de Asfalto.



Fuente: Autor

Gráfico 2: Gráficas de Comparación de Bulk.

MEZCLA	% ASFALTO	VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES (PROMEDIOS)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	15,465	35,962	34,958	34,620
2	5,5	13,020	35,098	35,180	34,631
3	6	12,351	35,076	36,859	31,633
4	6,5	13,308	34,677	34,445	32,800
5	7	14,643	35,563	36,351	32,830
6	7,5	11,766	36,679	37,934	34,679

Fuente: Autor

Tabla 21: Comparación de % de Vacíos de Agregados Minerales.

MINIMO PORCENTAJE ADMISIBLE DE VACÍOS EN LOS AGREGADOS MINERALES	
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO	% MÍNIMO DE VACÍOS EN LOS AGREGADOS MINERALES
Nº 16	23,5
Nº 8	21
Nº4	18
3/8"	16
1/2"	15
3/4"	14
1"	13
1 1/2"	12
2"	11,5

Fuente: Autor

Tabla 22: Tabla de Mínimo Porcentaje admisible Vacíos en los agregados Minerales.

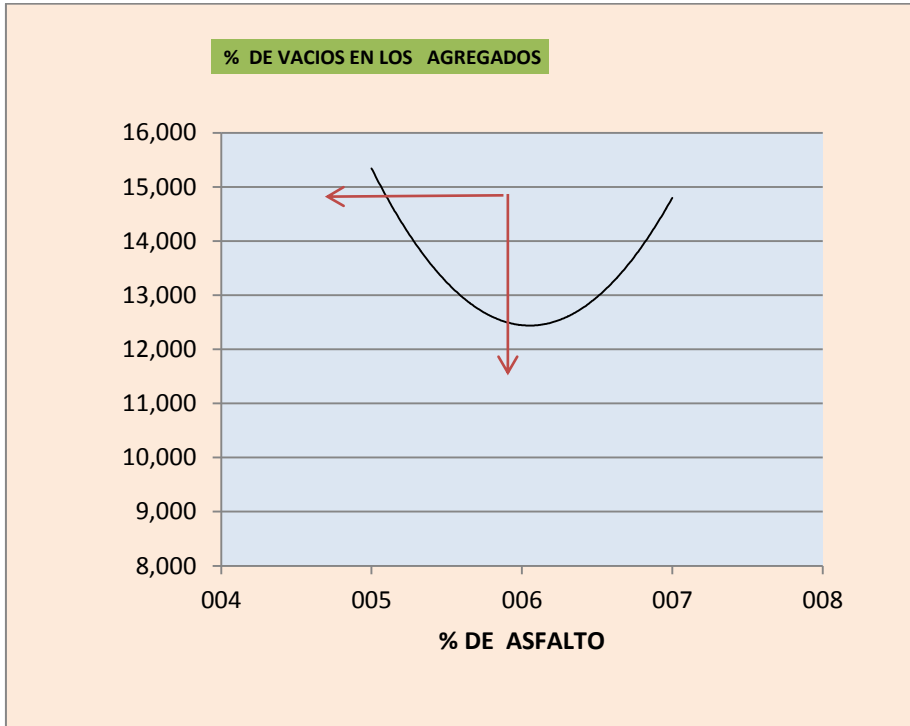
En el siguiente grafico se determina el % de Vacíos de Agregados Minerales para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.

GUIA GENERAL PARA AJUSTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Estabilidad Satisfactoria	Estabilidad Baja
VACÍOS CON AIRE BAJOS	Reducir el contenido de asfalto el de llenante mineral, o ambos Modificar la gradación y/o la combinación de los agregados para obtener más vacíos en el agregado	Aumentar el llenante mineral, disminuir el contenido de asfalto o ambas cosas simultáneamente. Aumentar la cantidad y/o la angulosidad del agregado grueso.
VACÍOS CON AIRE SATISFACTORIOS	No se requiere ajuste alguno	Disminuir el contenido de asfalto aumentar el llenante mineral o ambas cosas al mismo tiempo. Aumentar la cantidad y/o la angulosidad del agregado grueso.
VACÍOS CON AIRE ALTOS	Aumentar el contenido de asfalto y/o el de llenante mineral. Modificar la gradación y/o la combinación de los agregados para obtener menos vacíos en los agregados.	

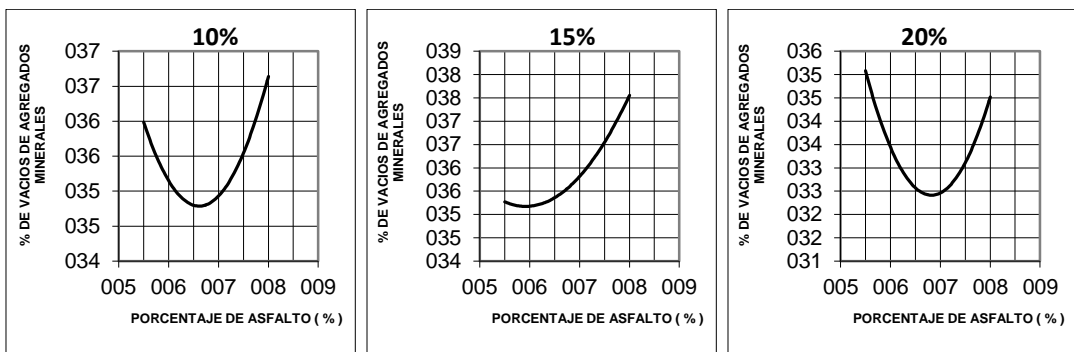
Fuente: Autor

Tabla 23: Tabla de Guía General para ajustes de Mezclas Asfálticas.



Fuente: Autor

Gráfico 3: Gráficas de % Vacíos en los agregados vs. % de Asfalto.



Fuente: Autor

Gráfico 4: Gráficas de Comparación de % de Vacíos de Agregados Minerales.

El V.A.M., o contenido de vacíos en el agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de V.A.M. muy bajos puede indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría exudar. Valores de V.A.M. muy altos también es asociado con el ahuellamiento ya que se requiere un mayor contenido asfáltico para cumplir con las especificaciones de diseño. Todos los asfaltos estudiados cumplen con el requisito exigido por la norma, es decir, un V.A.M. mayor a 14 %. La densidad es el grado de solidez que se puede alcanzar en una mezcla dada y que sólo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa, en el asfalto modificado con Caucho SBR se alcanza una densidad mayor que en el asfalto convencional, pero aun así está muy por debajo de la densidad máxima de la mezcla.

Comparación entre Estabilidad lb (% en estabilidad) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR.

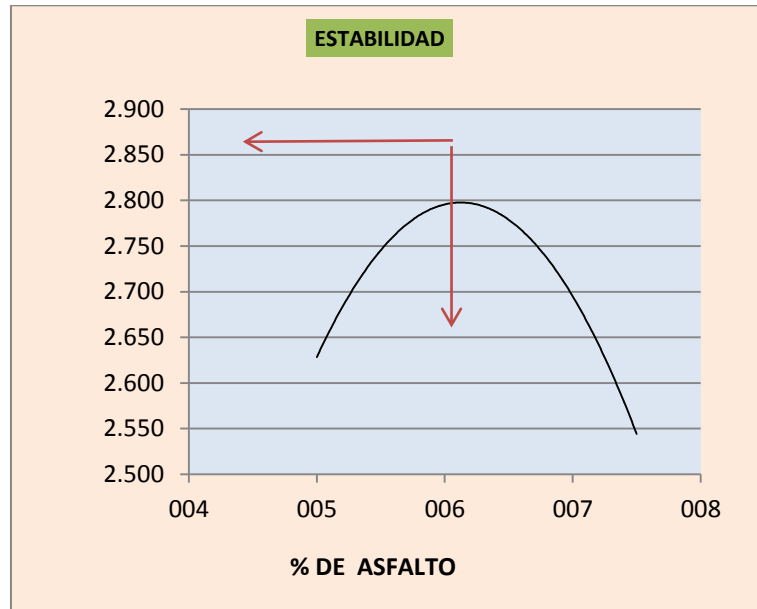
En la siguiente tabla se determina la Estabilidad para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.

MEZCLA	% ASFALTO	ESTABILIDAD (Lb)			
		CORREGIDA TEORICO			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	2704,447	2152,894	2216,460	2456,925
2	5,5	2701,990	2241,238	2528,230	2776,325
3	6	2653,479	2424,724	2480,970	2658,184
4	6,5	2705,911	2493,518	2543,440	2722,168
5	7	3061,224	2438,524	2380,600	2001,871
6	7,5	2360,373	2239,461	2495,710	2003,439

Fuente: Autor

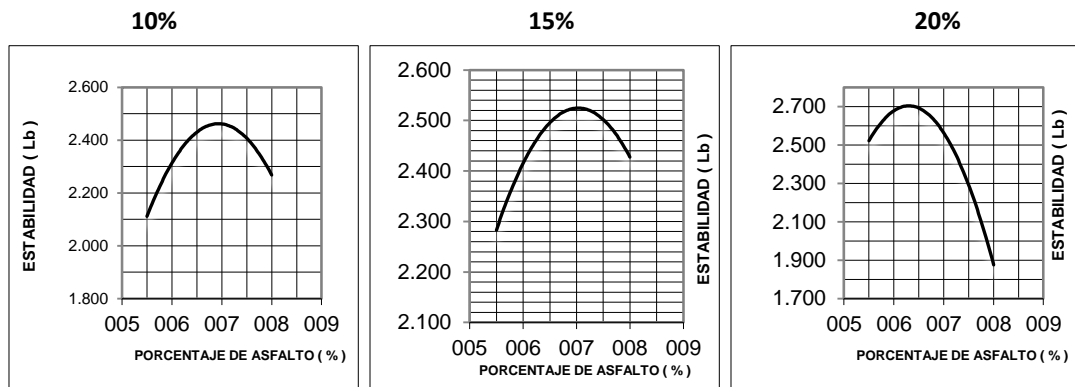
Tabla 24: Comparación de Estabilidad.

En el siguiente grafico se determina la Estabilidad para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.



Fuente: Autor

Gráfico 5: Gráficas de Estabilidad vs. % de Asfalto.



Fuente: Autor

Gráfico 6: Gráficas de Comparación de Estabilidad.

El ensayo de estabilidad de probetas no es determinante para el análisis comparativo que se está realizando, debido a que en ambos asfaltos la compresión se produce cuando los áridos se comprimen, ya que una de las principales cualidades del asfalto es que es un pavimento flexible. La carga

máxima que soporta el asfalto se mide en el ensayo Marshall, específicamente en la estabilidad.

Los valores con un 20 % de Caucho SBR nos dio una estabilidad de 2700 libras con un porcentaje de asfalto del 5.92 %, con el 15 % de Caucho SBR nos dio una estabilidad de 2500 libras con un porcentaje del 6.5%, y con un 10 % de Caucho SBR nos dio una estabilidad del 2475 libras con una porcentaje de asfalto del 6.34%, lo que quiere decir que están cumpliendo con las especificaciones se nota que las posibilidades que las capas de rodadura se puedan mezclar con Caucho SBR tenemos una resistencia bajo las condiciones climáticas menores a las tradicionales o sea cumplen para un tráfico pesado.

4.6 Comparación entre % de Vacíos de aire (% Vacíos) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR

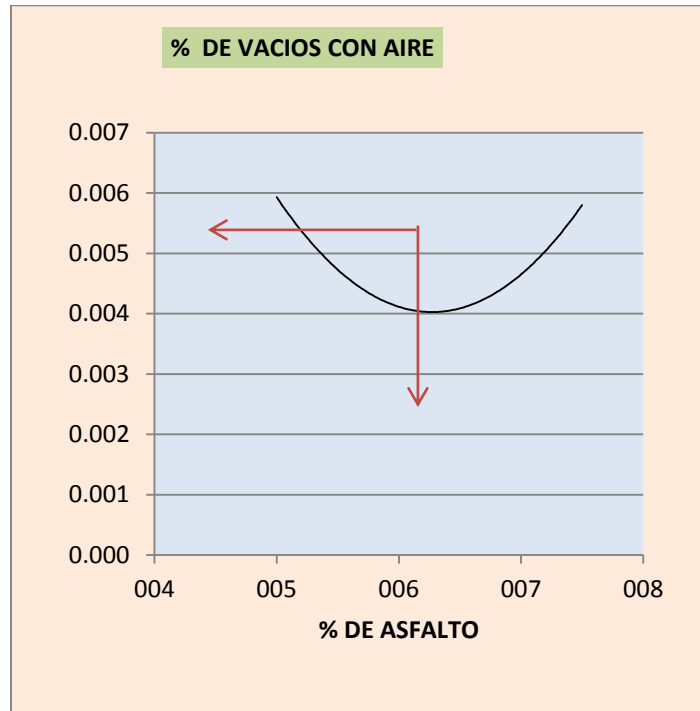
En la siguiente tabla se determina el % de Vacíos de Aire para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.

MEZCLA	% ASFALTO	VOLUMEN % TOTAL			
		VACÍOS CON AIRE (PROMEDIOS)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	6,390	23,870	26,584	27,214
2	5,5	3,933	27,614	27,657	26,080
3	6	3,935	26,943	28,903	24,878
4	6,5	4,800	24,098	23,754	24,961
5	7	4,650	24,145	24,725	24,361
6	7,5	5,606	27,255	27,202	24,655

Fuente: Autor

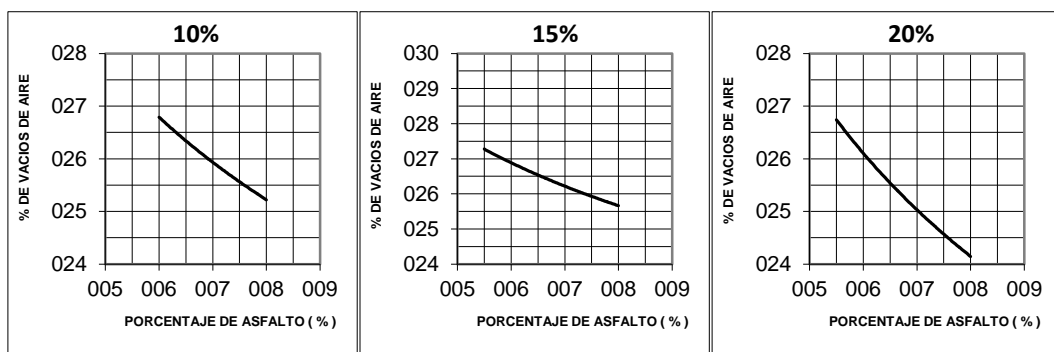
Tabla 25: Comparación de % de Vacíos de Aire.

En el siguiente grafico se determina el % Vacíos de Aire para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.



Fuente: Autor

Gráfico 7: Gráficas de % de Vacíos con Aire vs. % de Asfalto.



Fuente: Autor

Gráfico 8: Gráficas de Comparación de % de Vacíos de Aire.

El contenido de huecos de aire (V_a) es uno de los parámetros de desempeño más importantes de una mezcla asfáltica. Existe acuerdo en que el

rango adecuado de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 4 % a 6 %, o mayores, Para contenidos de vacíos bajo 4 % la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse en nuestro caso es mayor. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores a 6 la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración.

4.7 Comparación entre Flujo (% Óptimo de asfalto) de Método Marshall y Diseño de muestras con 10%, 15% y 20% de Caucho SBR

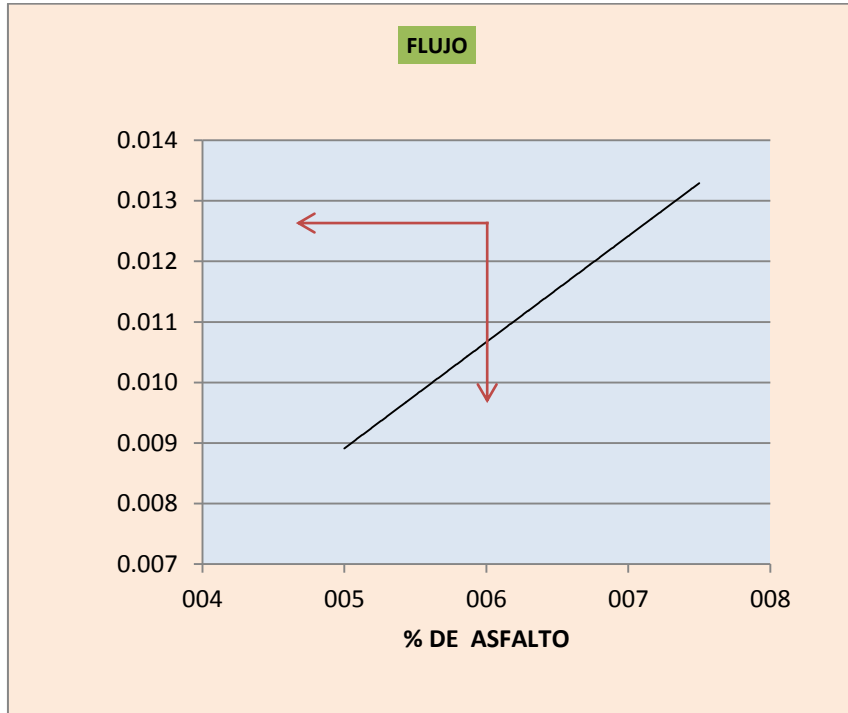
En la siguiente tabla se determina el Flujo para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.

MEZCLA	% ASFALTO	FLUJO 0.01"			
		CORREGIDA TEORICO			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	8,520	7,880	5,920	7,840
2	5,5	9,400	4,600	7,880	7,120
3	6	11,900	7,200	7,120	7,560
4	6,5	12,160	7,400	7,320	5,080
5	7	12,240	7,560	5,400	4,320
6	7,5	12,500	7,320	9,280	6,800

Fuente: Autor

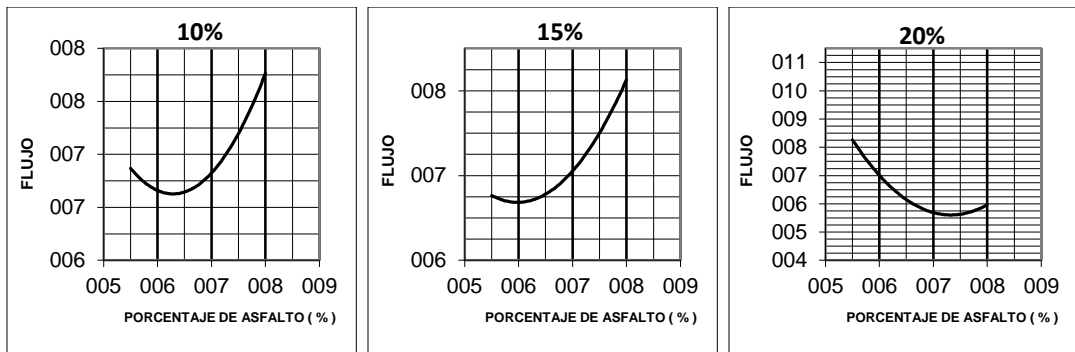
Tabla 26: Comparación de Flujo.

En el siguiente grafico se determina el Flujo para los diseños de las diferentes muestras y porcentajes de agregado de Caucho SBR.



Fuente: Autor

Gráfico 9: Gráficas de Flujo vs. % de Asfalto.



Fuente: Autor

Gráfico 10: Gráficas de Comparación de Flujo.

En lo que respecta a la fluidez están cumpliendo con los siguientes parámetros:

CRITERIO DE DISEÑO SUGERIDO POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO
PARA EL ENSAYO MARSHALL

TRÁNSITO	PESADO	MEDIO	LIVIANO
	DTN > 100	DTN = 10 A 100	DTN < 10
Nº de golpes por cara	75	50	35
Estabilidad mínima (libras)	750	500	500
Flujo (1/100plg)	8 - 16	8 - 18	8 - 20
% de vacíos con aire:			
Concreto asfáltico para rodadura	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Concreto asfáltico para base (1)	3 - 8	3 - 8	3 - 8
Arena asfalto para rodadura	5 - 8	5 - 8	5 - 8
Arena asfalto para base (1) (2)		3 - 18	
% de vacíos en agregados minerales	-----		

Fuente: Instituto el Asfalto

Tabla 27: Criterio de diseño sugerido por el Instituto el Asfalto para el Ensayo Marshall.

Para determinar el diseño más óptimo, depende de lo siguiente:

MEZCLA	%ASF.	PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			
		BULK (PROMEDIO)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	2,244	1,631	1,657	1,634
2	5,5	2,322	1,662	1,66	1,642
3	6	2,352	1,672	1,626	1,726
4	6,5	2,339	1,691	1,697	1,706
5	7	2,315	1,677	1,656	1,714
6	7,5	2,406	1,657	1,624	1,676

Fuente: Autor

Tabla 28: Tabla de Peso Especifico (gr/cm³).

MEZCLA	%ASF.	VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES (PROMEDIOS)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	15,465	35,962	34,958	34,62
2	5,5	13,02	35,098	35,18	34,631
3	6	12,351	35,076	36,859	31,633
4	6,5	13,308	34,677	34,445	32,8
5	7	14,643	35,563	36,351	32,83
6	7,5	11,766	36,679	37,934	34,679

Fuente: Autor

Tabla 29: Tabla de Vacíos en agregados minerales (Promedio).

MEZCLA	%ASF.	FLUJO 0.01"			
		CORREGIDA TEORICO			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	8,52	7,88	5,92	7,84
2	5,5	9,4	4,6	7,88	7,12
3	6	11,9	7,2	7,12	7,56
4	6,5	12,16	7,4	7,32	5,08
5	7	12,24	7,56	5,4	4,32
6	7,5	12,5	7,32	9,28	6,8

Fuente: Autor

Tabla 30: Tabla de Flujo 0.01".

Los resultados dependen de:

1. Vacíos con Aire Promedio
2. Estabilidad

Es por ello que:

MEZCLA	%ASF.	VOLUMEN % TOTAL			
		VACÍOS CON AIRE (PROMEDIOS)			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	6,39	23,87	26,584	27,214
2	5,5	3,933	27,614	27,657	26,08
3	6	3,935	26,943	28,903	24,878
4	6,5	4,8	24,098	23,754	24,961
5	7	4,65	24,145	24,725	24,361
6	7,5	5,606	27,255	27,202	24,655



Fuente: Autor

Tabla 31: Tabla de Vacíos con Aire (Promedio)

MEZCLA	%ASF.	ESTABILIDAD (Lb)			
		CORREGIDA TEORICO			
		TRADICIONAL	10%	15%	20%
1	5	2704,447	2152,894	2216,46	2456,925
2	5,5	2701,99	2241,238	2528,23	2776,325
3	6	2653,479	2424,724	2480,97	2658,184
4	6,5	2705,911	2493,518	2543,44	2722,168
5	7	3061,224	2438,524	2380,6	2001,871
6	7,5	2360,373	2239,461	2495,71	2003,439



Fuente: Autor

Tabla 32: Tabla de Estabilidad (Lb).

4.8 Parámetros de la elaboración de Modelo Matemático

El Modelo Matemático que se va a utilizar para estimar teóricamente la aproximación más cercana de los resultados obtenidos experimentalmente mediante la función cuadrática se usó el método de los mínimos cuadrados.

Se empezó resolviendo las ecuaciones mediante la ecuación lineal, obteniendo la siguiente constante,

$$Y=F(x)=AX^2 + BX + C$$

$$F'(x) = \frac{F(x)}{dx} = \frac{AX^2}{dx} + \frac{BX}{dx} + \frac{C}{dx}$$

$$0=2Ax+B$$

$$x_{\text{máx}}=-(B/2A)$$

**X es el Porcentaje que se aproxime al
diseño Patrón.**

Fuente: Autor

Figura 14: Ecuación Lineal para obtener la variable X_{máx}.

Se continúa resolviendo el método, mediante la matriz principal, a continuación se explica el procedimiento

Ecuación Lineal

$$AX = B$$

$$C^{-1} = \frac{1}{A^* A^T} \quad P = C^{-1} A^T$$

$$X = \frac{B}{A} = \frac{B^* A^T}{A^* A^T} = P^* B$$

Fuente: Autor

Figura 15: Ecuación Lineal para obtener la variable X

$$A = \sum_{n=1, \dots, 3}^{m=1, \dots, 6} a_{mn} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 16: Matriz Principal para la obtención de la variable

$$\sum_{n=1}^{m=1,..,3} \mathbf{a}_{mn} = \mathbf{X}^2 = \begin{bmatrix} X^2_{11} \\ X^2_{21} \\ X^2_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \\ 225 \\ 400 \end{bmatrix} \quad \text{Orden } 3 \times 1$$

$$\sum_{n=2}^{m=1,..,3} \mathbf{a}_{mn} = \mathbf{X}^1 = \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{22} \\ X_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 15 \\ 20 \end{bmatrix} \quad \text{Orden } 3 \times 1$$

$$\sum_{n=3}^{m=1,..,3} \mathbf{a}_{mn} = \mathbf{X}^0 = \begin{bmatrix} X_{13} \\ X_{23} \\ X_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{Orden } 3 \times 1$$

Fuente: Autor

Figura 17: Procedimiento para la obtención de la Matriz Principal

Se obtiene la Matriz “A” en referencia a la Formula de la Matriz Principal, la Matriz “A^T” en referencia a la Matriz “A”, la Matriz “C” se la obtiene mediante la multiplicación de la Matriz “A” por la Matriz “A^T”, la Matriz “C⁻¹” en referencia a la Matriz “C”, la Matriz “P” en referencia de la Matriz “C⁻¹”, la Matriz “X” se la obtiene mediante la multiplicación de la Matriz “P” por la Matriz “B” y los valores aproximados de X_{máx}.

$$A = \begin{bmatrix} 100 & 10 & 1 \\ 225 & 15 & 1 \\ 400 & 20 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 18: Matriz A

$$A^T = \sum_{n=1, \dots, 6}^{m=1, \dots, 3} a_{mn} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$A^T = \begin{bmatrix} 100 & 225 & 400 \\ 10 & 15 & 20 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 19: Matriz A^T

$$C = A * A^T$$

$$C = \begin{bmatrix} 100 & 10 & 1 \\ 225 & 15 & 1 \\ 400 & 20 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 100 & 225 & 400 \\ 10 & 15 & 20 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 220625 & 12375 & 725 \\ 12375 & 725 & 45 \\ 725 & 45 & 3 \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 20: Matriz C

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0024 & -0,072 & 0,5 \\ -0,072 & 2,18 & -15,3 \\ 0,5 & -15,3 & 109 \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 21: Matriz C⁻¹

$$P = C^{-1} * A^T$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,0024 & -0,072 & 0,5 \\ -0,072 & 2,18 & -15,3 \\ 0,5 & -15,3 & 109 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 100 & 225 & 400 \\ 10 & 15 & 20 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,02 & -0,04 & 0,02 \\ -0,7 & 1,2 & -0,5 \\ 6 & -8 & 3 \end{bmatrix}$$

Fuente: Autor

Figura 22: Matriz P

$$X = P * B$$

Tabla de Esfuerzos

$$X = \begin{bmatrix} 0,02 & -0,04 & 0,02 \\ -0,7 & 1,2 & -0,5 \\ 6 & -8 & 3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2241 \\ 2528 \\ 2776 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} -0,78 \\ 76,90 \\ 1550,00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

A = -0,78

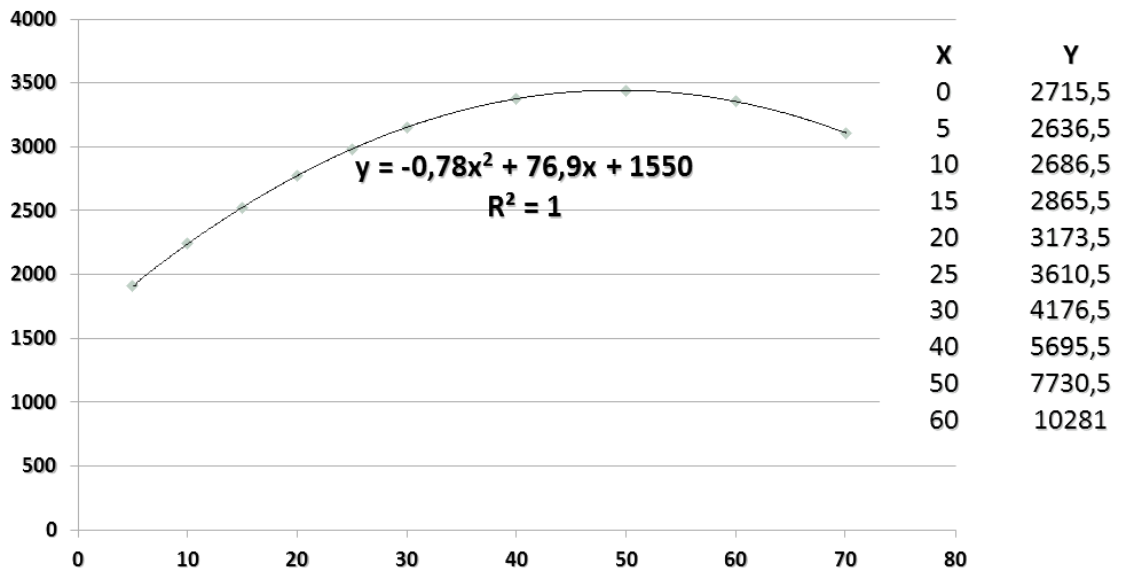
B = 76.90

C = 155.00

$$X_{\text{máx}} = -(B/2A) = 49.24$$

Fuente: Autor

Figura 23: Matriz X para obtener el X_{máx} teórico mediante el Método de los Mínimos Cuadrados.



$$X_{\text{máx}} = -(B/2A) = 49.24$$

Fuente: Autor

Figura 24: Grafico del Modelo Matemático

4.9 Análisis de Precios Unitarios

DISEÑO DEL ASFALTO TRADICIONAL CON 6,5% DE CEMENTO ASFALTICO

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	PIEDRA 3/4	KG	280,50	\$ 0,01	\$ 2,10
2	PIEDRA 1/2	KG	420,75	\$ 0,01	\$ 3,46
3	CISCO	KG	350,63	\$ 0,01	\$ 2,08
4	ARENA GRUESA	KG	350,63	\$ 0,01	\$ 2,23
5	CEMENTO ASFALTICO	KG	97,50	\$ 0,27	\$ 25,98
SUB-TOTAL DE 1,5 TONELADAS					\$ 35,85

Fuente: Autor

Tabla 33: Tabla de Análisis de Precios para el Diseño del Asfalto Tradicional con 6.5% de Cemento Asfaltico.

**DISEÑO DEL ASFALTO TRADICIONAL CON 6,5% DE CEMENTO
ASFALTICO Y 20% DE CAUCHO SBR**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	PIEDRA 3/4	KG	280,50	\$ 0,01	\$ 2,10
2	PIEDRA 1/2	KG	420,75	\$ 0,01	\$ 3,46
3	CISCO	KG	350,63	\$ 0,01	\$ 2,08
4	ARENA GRUESA	KG	350,63	\$ 0,01	\$ 2,23
5	CEMENTO ASFALTICO	KG	78,00	\$ 0,27	\$ 20,79
6	CAUCHO SBR 20%	KG	19,50	\$ 0,20	\$ 3,90
SUB-TOTAL DE 1,5 TONELADAS					\$ 34,55

Fuente: Autor

Tabla 34: Tabla de Análisis de Precios para el Diseño del Asfalto Tradicional con 6.5% de Cemento Asfaltico y 20% de Caucho SBR.

PRESUPUESTO					
TESIS DE GRADO "DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON CAUCHO SBR USANDO METODO MARSHALL"					
FECHA: 'SEPTIEMBRE 2016					
ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	VIAS				
1,1	DISEÑO DEL ASFALTO TRADICIONAL CON 6,5% DE CEMENTO ASFALTICO	Ton.	1,5	\$ 35,85	\$ 53,77
1,2	DISEÑO DEL ASFALTO TRADICIONAL CON 6,5% DE CEMENTO ASFALTICO Y 20% DE CAUCHO SBR	Ton.	1,5	\$ 34,55	\$ 51,83

Fuente: Autor

Tabla 35: Tabla de Presupuesto de Diseño de Mezcla Asfáltica con Caucho SBR usando Método de Marshall

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

De acuerdo con el estudio correspondiente al análisis experimental del uso de Caucho SBR en el asfalto y en base a los resultados obtenidos, se requiere dar a conocer como conclusiones que a continuación se exponen:

- ✓ Las mezclas elaboradas con altas temperaturas presentaron un recubrimiento totalmente adecuado y no se presentó problema alguno, en el mezclado ni en la compactación.

- ✓ Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados posee un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfalto es mejorar sus propiedades.

- ✓ El ensayo de compresión de probetas no es determinante para el análisis comparativo que se está realizando, debido a que en ambos asfaltos la compresión se produce cuando los áridos se comprimen. ya que una de las principales cualidades del asfalto es que es un pavimento flexible. La carga máxima que soporta el asfalto se mide en el ensayo Marshall, específicamente en la estabilidad.

- ✓ Los asfaltos modificados con caucho SBR, tienden a volver a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión a que habían sido sometidos.

- ✓ Los asfaltos modificados con Caucho SBR, tienen una mayor capacidad de mantener su forma bajo las presiones a los cuales son sometidos.

- ✓ Como se observó en las pruebas de laboratorio realizadas a ambos materiales, podemos decir que el asfalto modificado con Caucho SBR, debido a su alta estabilidad puede ser sometido a una carga máxima mayor que el asfalto tradicional.
- ✓ Los valores con un 20 % de caucho SBR nos dio una estabilidad de 2700 libras con un porcentaje de asfalto del 5.92 %, con el 15 % de Caucho SBR nos dio una estabilidad de 2500 libras con un porcentaje del 6.5%, y con un 10 % de Caucho SBR nos dio una estabilidad del 2475 libras con una porcentaje de asfalto del 6.34%.
- ✓ El diseño óptimo para este estudio es la muestra 4 con 6,5% de Asfalto y 20% de caucho SBR, debido que sus resultados dependen al menor porcentaje de vacío con aire promedio y mayor resistencia de estabilidad.

5.2 Recomendaciones

Recomendaciones para mejorar y continuar las investigaciones

- ✓ Se recomienda finalmente que se fomente el uso del caucho como modificador en mezclas asfálticas.
- ✓ Las Investigaciones futuras se deben dirigir a aumentar el % de caucho para observar su resistencia.
- ✓ Fomentar la construcción con pavimento flexible hecho con este asfalto sobre todo en zonas donde no hay pavimentos.

5.3 BIBLIOGRAFIA

ACI 522R. (2011). *Report on Previous Concrete*. United States: American Concrete Institute.

- ACI318R. (2009). *Report on Previous Concrete*. United States: American Concrete Institute.
- ANDREW PYTEL , FERDINAND L. SINGER. (2008). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. NEW YORK: OXFORD.
- ASTM C127. (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C128. (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C131. (2006). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C143. (2012). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. United States: ASTM International Standard Methods.
- ASTM C1688. (2013). *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Previous Concrete*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C31. (2012). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C33. (2013). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States: ASTM Internacional Standars Methods.
- ASTM C39. (2014). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International Standards Methods.

- ASTM C78. (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C88. (2013). *Test on Soundness of Aggregate Using Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate: A Study of the Mechanisms of Damage*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C94. (2014). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM.A280. (2011). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM Association Standard Methods.
- ASTM.C143. (2011). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM.C39. (2011). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International Standar Methods.
- CIVILGEEKS. (11 de 12 de 2011). Recuperado el 03 de 11 de 2015, de <http://civilgeeks.com/2011/12/11/propiedades-principales-del-concreto/>
- Comercio, G. E. (2014). *REVISTA LIDERES.EC*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de En Ecuador, el consumo de cemento crece a ritmo sostenido: http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/ecuador-crece-consumo-cemento-empresas-cifras-ventas_0_1120087996.html
- Cosntructivas, I. S. (s.f.). *Iberia GCR*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de <http://www.iberiagrc.com/index.php/17-inicio/inicio/16-historia-grc>
- José Juan Rodríguez Lozano, E. S. (2013). *Tesis de Grado: ANALISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS*

EN EL COMPORTAMIENTO POST FISURA DEL HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS. Valencia: Universidad Politecnica de VAlencia.

LIDERES.EC, R. (13 de 04 de 2014). *En Ecuador, el consumo de cemento crece a ritmo sostenido*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/ecuador-crece-consumo-cemento-empresas-cifras-ventas_0_1120087996.html

LIDERES.EC, R. (01 de 02 de 2015). *Construcción, sector clave para levantar la economía ecuatoriana en este 2015*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de <http://www.revistalideres.ec/lideres/construccion-sector-clave-economia-ecuador.html>

LOAIZA, G. (2004-2005). *“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL HORMIGON PREMEZCLADO APLICADO EN OBRA CON HQ SEGUN COMITE ACI121”*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5526/1/26059_1.pdf

MATEUS, C. (2006). *Definiciones*. Mexico: Mac Graw Hill.

Ocala, P. S. (19 de 09 de 2013). *Estructuras de Concreto Construccion 1*. Recuperado el 17 de 09 de 2014, de Universidad San Francisco: <http://es.scribd.com/doc/169265023/4-Estructuras-de-Concreto-Construccion1>

PEREZ, L. (2009). *Metodos de resistencia* . Mexico: Ediciones Limusa.

POLIT ROLDOS, P. (2014). CIFRAS DE DOMUS. *DOMUS*, 2-16.

Sonia Tamara Sánchez Valencia, J. J. (1 de 12 de 2013). *ELABORACION DEL HORMIGON DESHIDRATADO PREMEZCLADO CON MATERIALES LOCALES NATIVOS EN GUAYAQUIL*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: UEES.

- Vicente, J. J. (2013). *Análisis comparativo del efecto de los distintos tipos de fibra en el comportamiento post fisura del hormigón reforzado con fibras*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Aguado, L. (2010). *Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción*. España.
- Alvarado, V. (2011) *Análisis del método para el estudio granulométrico de áridos de mezclas asfálticas*. Santiago de Chile.
- Angulo, R. & Duarte, J. (2005). *Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos*. Bucaramanga.
- Botasso, G. & Soengas, C. (2011). *Ejecución de pavimento con mezcla asfáltica densa con utilización de caucho reciclado*. Buenos Aires.
- Chávez, J. (2007). *Estudio de factibilidad técnico - económica entre un pavimento de asfalto convencional y uno modificado con agregado de caucho*. México.
- García, A. (2014). *Concepto de pavimento*. Madrid.
- NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI -12-MTOP. (2013). Quito.
- Pérez, F. (2007). *Mezclas asfálticas*. Argentina.
- Ramírez, L. (2011). *Pavimentos con polímeros reciclados*. Colombia.
- Guzman, C. M. (10 de 06 de 2007). *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242007000100006&lng=es&nrm=

ANEXOS

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL

Fuente:		PATRIDASA		Grado del cemento asfáltico: 60 - 70																
G asf. = 2,522 gr/cm3		Peso específico de agregados para diseño		Peso específico del cemento asfáltico																
N° de golpes: 75 golpes por cara de briquea		G asf. = 1,012 gr/cm3		Fecha:																
Cortante del anillo:		10,455																		
PESO EN GRAMOS		PESO ESPECIFICO (gr/cm3)		% VOLUMEN % TOTAL																
ESPESOR BRIQUETAS (Pulg)		SECO SSS AGUA		VACIOS AGREGADOS MINERALES																
Gmt MAX TEORICO		Gmm - RICE MAX MEDIDO		VACIOS ASFALTO EFECTIVO																
BULK		Gmm - RICE MAX MEDIDO		VACIOS ASFALTO EFECTIVO																
g		i		m																
f		j		n																
e		k		o																
d		l		p																
c		m		q																
b		n		r																
a		o		s																
%		%		%																
ASF. BRIQUETAS (Pulg)		% ABSOR.		% ASFALTO EFECTIVO																
MEZCLA		% RICE		% ASFALTO EFECTIVO																
ESTABILIDAD (Lb)		CORREGIDA		CORREGIDA																
FLUJO 0.01"		CORREGIDA		CORREGIDA																
MEDIDA		MEDIDA		MEDIDA																
1	5,00	1249,8	1256,22	699	2,243	285,00	2830,69	8,400	274,00	2578,20	8,640	270,00	2704,45	8,520	213,00					
PROMEDIO		2,660	1296,24	1302,17	725	2,246	2,244	2,347	2,398	0,954	84,535	6,390	9,075	15,465	0,906	140,050	279,50	2704,45	8,520	213,00
2	5,50																			
		2,367	1121,78	1126,8	652	2,363														
		2,621	1278,7	1285,73	725	2,280														
PROMEDIO							2,322	2,331	2,417	1,627	86,880	3,933	9,087	13,020	1,537	144,863	260,00	2701,99	9,400	235,00
3	6,00																			
		2,591	1251,61	1256,88	744	2,306														
		2,584	1280,11	1284,19	750,4	2,398														
PROMEDIO							2,352	2,315	2,448	2,529	87,649	3,935	8,416	12,351	2,377	146,754	270,00	2653,48	11,900	297,50
4	6,50																			
		2,677	1310,24	1312,42	735	2,269														
		2,453	1209,64	1212,33	710	2,408														
PROMEDIO							2,339	2,299	2,456	3,013	86,692	4,800	8,508	13,308	2,817	145,928	273,50	2705,91	12,160	304,00
5	7,00																			
		2,773	1363,22	1364,71	752	2,225														
		2,566	1242,91	1244,7	727,9	2,405														
PROMEDIO							2,315	2,284	2,428	2,828	85,357	4,650	9,993	14,643	2,630	144,453	325,00	3061,22	12,240	306,00
6	7,50																			
		2,701	1306,7	1308,79	773,8	2,442														
		2,468	1197,67	1198,88	693,4	2,369														
PROMEDIO							2,406	2,269	2,549	5,306	88,234	5,606	6,160	11,766	4,908	150,150	240,00	2360,37	12,500	312,50

RESULTADOS METODO MARSHALL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA																					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																					
LABORATORIO DE PAVIMENTOS																					
DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL																					
Proyecto:		Fuente:		Grado del cemento asfáltico:																	
Gagr. = 2,420 gr/cm ³		Peso específico de agregados para diseño		Gasf.= 1,032 gr/cm ³		Peso específico del cemento asfáltico														40-50	
N° de golpes:		75 golpes por cara de briquea		Constante del anillo:		10,455															
MEZCLA ASF.	%	ESPESOR R (cm)	ESPESOR BRQUETAS (Pulg)	PESO EN GRAMOS		PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	% ASF. ABSOR.	VOLUMEN % TOTAL		VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% ASFALTO EFECTIVO	PESO UNITARIO Lb/ft ³	ESTABILIDAD (Lb)	FLUJO 0.01"							
				SECO	SSS			AGREGADOS	VACÍOS CON AIRE						ASFA	ASFA	ASFA	ASFA	ASFA	ASFA	ASFA
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
1	5.00	6.19	2.435	1059.79	1081.5	43.19	1.631									198.00	2152.89	7.880	197.00		
PROMEDIO							1.631	2.268	2.143	2.789	64.038	23.870	12.092	35.962	2.649	101.802	198.00	2152.89	7.880	197.00	
2	5.50	6.50	2.558	1122.66	1127.19	457.8	1.662									221.00	2241.24	4.600	115.00		
PROMEDIO							1.662	2.254	2.296	0.903	64.902	27.614	7.484	35.098	0.853	103.721	221.00	2241.24	4.600	115.00	
3	6.00	6.03	2.375	1058.21	1068.35	435.3	1.672									223.00	2424.72	7.200	180.00		
PROMEDIO							1.672	2.240	2.288	1.041	64.924	26.943	8.134	35.076	0.978	104.308	223.00	2424.72	7.200	180.00	
4	6.50	6.12	2.408	1083.81	1094.17	453.2	1.691									225.00	2493.52	7.400	185.00		
PROMEDIO							1.691	2.226	2.228	0.046	65.323	24.098	10.579	34.677	0.043	105.512	225.00	2493.52	7.400	185.00	
5	7.00	6.40	2.520	1115.07	1129.85	464.9	1.677									238.00	2438.52	7.560	189.00		
PROMEDIO							1.677	2.212	2.211	0.029	64.437	24.145	11.418	35.563	0.027	104.640	238.00	2438.52	7.560	189.00	
6	7.50	6.31	2.486	1101.12	1110.11	445.5	1.657									210.00	2239.46	7.320	183.00		
PROMEDIO							1.657	2.198	1.762	1.630	63.321	27.255	9.423	36.679	1.630	103.384	210.00	2239.46	7.320	183.00	

RESULTADOS CON CAUCHO SBR AL 10%

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA																			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																			
LABORATORIO DE PAVIMENTOS																			
DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL																			
Proyecto:		Fuente:		Grado del cemento asfáltico:															
Cagr. = 2,420 gr/cm ³		Peso específico de agregados para diseño		G _{asf} = 1,032 gr/cm ³		Peso específico del cemento asfáltico													
N° de golpes:		75 golpes por cara de briqueleta		Constante del anillo:		10,455		Fecha:											
MEZCLA	% ASF.	ESPESO R (cm)	ESPESOR BRIQUETAS (Pulg)	PESO EN GRAMOS		PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	% ASF. ABSOR.	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% ASFALTO EFECTIVO	UNITARIO Lb/pe	ESTABILIDAD (Lb)	FLUJO 0.01"				
				SECO	SSS			AGUA	BULK	GRM - RICE						CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO	ASFALTO EFECTIVO	MEDIDA
a	b	c	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
1	5,00	6,40	2,520	45,19	1,657										212,00	2216,46	5,920	148,00	
PROMEDIO					1,657	2,268	2,257	0,227	65,042	26,584	8,375	34,958	0,216	103,398	212,00	2216,46	5,920	148,00	
2	5,50	6,14	2,416	43,67	1,660										214,00	2528,23	7,880	197,00	
PROMEDIO					1,660	2,254	2,295	0,871	64,820	27,657	7,523	35,180	0,823	103,590	214,00	2528,23	7,880	197,00	
3	6,00	5,78	2,274	399	1,626										210,00	2480,97	7,120	178,00	
PROMEDIO					1,626	2,240	2,287	1,010	63,141	28,903	7,956	36,859	0,950	101,445	210,00	2480,97	7,120	178,00	
4	6,50	6,43	2,533	477,4	1,697										185,00	2543,44	7,320	183,00	
PROMEDIO					1,697	2,226	2,226	0,003	65,555	23,754	10,691	34,445	0,002	105,886	185,00	2543,44	7,320	183,00	
5	7,00	6,23	2,454	441,1	1,656										220,00	2380,60	5,400	135,00	
PROMEDIO					1,656	2,212	2,200	0,262	63,649	24,725	11,626	36,351	0,244	103,360	220,00	2380,60	5,400	135,00	
6	7,50	5,64	2,222	385,4	1,624										218,00	2495,71	9,280	232,00	
PROMEDIO					1,624	2,198	2,231	0,734	62,066	27,202	10,733	37,934	0,679	101,334	218,00	2495,71	9,280	232,00	

RESULTADOS CON CAUCHO SBR AL 15%

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA																												
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																												
LABORATORIO DE PAVIMENTOS																												
DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL																												
Proyecto:													Grado del cemento asfáltico: 40-50															
Gagr. =		2,374 gr/cm3											Peso específico de agregados para diseño															
N° de golpes:		75 golpes por cara de briquea											G _{asf} = 1,032 gr/cm3															
													Peso específico del cemento asfáltico															
													Fecha:															
													Constante del amilo: 10,455															
													Fuente:															
MEZCLA	ASF.	%	ESPE- SOR R (cm)	ESPE- SOR BRIQUETAS (Pulg)	SECO	SSS	ACUA	BULK	Cmt MAX TEORICO	PESO ESPECIFICO (gr/cm3)	RICH	Gmm - RICH	%	VOLUMEN % VACIOS CON AIRE	VOLUMEN % TOTAL	VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	%	ASfalto Efectivo	PESO UNITARIO Lb/pie³	ESTABILIDAD (Lb)	CORREGIDA	MEDIDA	CORREGIDA	MEDIDA	FLUJO 0.01"			
																										h	i	j
1	5,00	6,04	2,379	105,183	1074	430,11	1634													235,00	2456,93				7,840	196,00		
PROMEDIO																												
2	5,50	6,14	2,418	105,164	1072	431,15	1642																			7,120	178,00	
PROMEDIO																												
3	6,00	5,87	2,312	1039,25	1030	428	1726																				7,560	189,00
PROMEDIO																												
4	6,50	6,26	2,465	1100,5	1022	456,9	1706																				5,080	127,00
PROMEDIO																												
5	7,00	6,10	2,400	1085	1076	443,1	1714																				4,320	108,00
PROMEDIO																												
6	7,50	5,83	2,296	1000	1022	405,4	1676																				6,800	170,00
PROMEDIO																												
PROMEDIO																												

RESULTADOS CON CAUCHO SBR AL 20%