



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

Tema:

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.”**

AUTORA: Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca

TUTOR: Ing. Mg. Fricson Lutgardo Moreira

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Fricson Lutgardo Moreira, certifico que el presente trabajo bajo el tema: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO”, es de autoría de la Srta. Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Febrero de 2017

Ing. Mg. Fricson Moreira

AUTORÍA

Yo, Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca con C.I: 180433859-6, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO, es de mi completa autoría y fue realizado en el período

Ambato, Febrero del 2017

Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, 10 de Marzo de 2017

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO”, de la egresada Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Enero del 2017.

Para constancia firman

Ing. Mg. Byron Cañizares

Ing. Mg. Francisco Pazmiño

DEDICATORIA

En primer lugar al ser que hizo capaz la culminación de esta etapa de mi vida, Dios mi Padre dueño de mi vida.

A mi amado Padre, por haber sido el mejor maestro a lo largo de toda mi vida, por compartir cada momento conmigo y ser siempre mi ejemplo a seguir.

Al ser más importante en mi vida mi hijo, que en casi toda la carrera estuvo presente y con solo saber de su existencia me empujaba a no detenerme y seguir adelante para ser su ejemplo en la vida.

A mi esposo por haber compartido conmigo toda mi carrera siendo mí apoyo incondicional.

A mi querida Madre, por nunca dejarme sola y ser un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi familia en general que de una forma u otra me han apoyado en varios momentos.

A mis amigos y conocidos que me han acompañado en ésta importante etapa.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por su amor, fidelidad y por siempre darme fuerzas para seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A mis PADRES, por darme siempre su apoyo incondicional y ser un ejemplo a seguir; por guiarme por el camino correcto, por ser los segundos padres de mi hijo y enseñarme las cosas más importantes de la vida.

A mi HIJO, porque él fue el motor que me impulso a seguir adelante por este largo camino.

A mi ESPOSO, el amor de mi vida que hizo que me decida por la carrera y me apoyo en cada pasito que di a lo largo de ella con amor.

A cada uno de los integrantes de mi FAMILIA, por brindarme su apoyo en la realización de este trabajo.

A mi Tutor Ing. Fricson Moreira por su asesoría y colaboración en la consecución de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de toda la vida, por todo el apoyo brindado a lo largo de esta carrera.

CONTENIDO

Certificación del tutor	ii
Autoría.....	iii
derechos de autor.....	iv
aprobación del tribunal de grado.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento.....	vii
Contenido	viii
Índice de tablas.....	x
Índice de gráficos	xiii
Resumen ejecutivo	xv
CAPÍTULO I.....	1
1. Antecedentes	1
1.1 Tema del trabajo experimental.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General:.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	4
CAPÍTULO II	5
2. Fundamentación.....	5
2.1 fundamentación teórica	5
2.1.1 Asfalto.....	5
2.1.2 Propiedades Físicas	6
2.1.3 Composición Química.....	6
2.1.4 Producción del Asfalto.....	8
2.1.5 Caracterización de los Materiales Asfálticos	9
2.1.6 Características de las Mezclas Asfálticas.....	10
2.1.7 Diseño de Mezclas Asfálticas	11
2.1.8 Métodos para el Diseño de Mezclas Asfálticas	12

2.2 Hipótesis.....	37
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis	37
CAPÍTULO III.....	38
3. Metodología	38
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	38
3.2 Población y muestra	38
3.3 Operacionalización de variables	39
3.4 Plan de recolección de información	41
3.5 Plan de procesamiento y análisis.....	42
CAPÍTULO IV.....	43
4. Análisis e interpretación de resultados.....	43
4.1 recolección de datos	43
4.1.1 Ensayos realizados al Asfalto	44
4.1.2 Ensayos realizados a los Agregados	45
4.2 Interpretación de Resultados	91
CAPÍTULO V	96
5. Conclusiones y recomendaciones	96
5.1 Conclusiones	96
5.2 Recomendaciones.....	96
Bibliografía	98
Anexos.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tipos de abrasión.....	14
Tabla 2-2 Cantidades mínimas para ensayo según el tamaño nominal.....	15
Tabla 2-3 Granulometría para mezclas asfálticas según especificaciones del.....	18
Tabla 2-4 Requerimientos de la muestra granulométrica	19
Tabla 2-5 Características del cemento Asfáltico AC 20	20
Tabla 2-6 Briquetas según su porcentaje de asfalto caucho y porcentaje de partículas de caucho	35
Tabla 3-1 Variable Independiente.....	39
Tabla 3-2 Variable Dependiente	40
Tabla 3-3 Plan de recolección de información.....	41
Tabla 4-1 Peso Específico del Asfalto	44
Tabla 4-2 Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	45
Tabla 4-3 Densidad Real del Agregado Fino	46
Tabla 4-4 Capacidad de Absorción del Agregado Fino	47
Tabla 4-5 Densidad Real del Agregado Grueso.....	48
Tabla 4-6 Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.....	49
Tabla 4-7 Recubrimiento y Peladura.....	50
Tabla 4-8 Granulometría Agregado Grueso.....	51
Tabla 4-9 Gravedad específica teórica máxima	52
Tabla 4-10 Gravedad específica teórica máxima	53
Tabla 4-11 Gravedad específica teórica máxima	54
Tabla 4-12 Gravedad específica teórica máxima	55
Tabla 4-13 Gravedad específica teórica máxima	56
Tabla 4-14 Factor de corrección de la Estabilidad de Marshall.....	59

Tabla 4-15 Metodo Marshall Dosificacion Convencional	61
Tabla 4-16 Contenido Óptimo de Asfalto	65
Tabla 4-17 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	65
Tabla 4-18 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	66
Tabla 4-19 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	66
Tabla 4-20 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	67
Tabla 4-21 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	68
Tabla 4-22 Método Marshall Asfalto Modificado con 1% de Caucho de llanata Reciclado.....	69
Tabla 4-23 Contenido Óptimo de Asfalto.....	73
Tabla 4-24 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	73
Tabla 4-25 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	74
Tabla 4-26 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	74
Tabla 4-27 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	75
Tabla 4-28 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	76
Tabla 4-29 Método Marshall Asfalto Modificado con 1.5% de Asfalto.....	77
Tabla 4-30 Contenido Óptimo de Asfalto.....	81
Tabla 4-31 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	81
Tabla 4-32 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	82
Tabla 4-33 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	83
Tabla 4-34 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	84
Tabla 4-35 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)	85
Tabla 4-37 Metodo Marshall Asfalto Modificado con 2% de Caucho de llanta Reciclado.....	86
Tabla 4-38 Contenido Óptimo de Asfalto	90

Tabla 4-38 Comparación de resultados de las Densidades Promedio Bulk Vs. Contenido Asfáltico.	91
Tabla 4-39 Comparación de resultados de las Estabilidades Promedio Vs. Contenido Asfáltico	92
Tabla 4-40 Comparación de resultados de los Flujos Promedio Vs. Contenido Asfáltico	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Toma de muestras	18
Gráfico 4-1 Peso Específico Bulk VS. Contenido de Asfalto.....	62
Gráfico 4-2 Vacíos con Aire VS. Contenido de Asfalto	62
Gráfico 4-3 Vacíos con Agregados Minerales VS. Contenido de Asfalto.....	63
Gráfico 4-4 Vacíos Llenos de Asfalto VS. Contenido de Asfalto	63
Gráfico 4-5 Estabilidad VS. Contenido de Asfalto	64
Gráfico 4-6 Flujo VS. Contenido de Asfalto	64
Gráfico 4-7 Peso Específico Bulk VS. Contenido Asfáltico.....	70
Gráfico 4-8 Índice de Vacíos VS. Contenido Asfáltico.....	70
Gráfico 4-9 Vacíos en Agregados VS. Contenido Asfáltico.....	71
Gráfico 4-10 Vacíos Llenos de Asfalto VS. Contenido Asfáltico	71
Gráfico 4-11 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico.....	72
Gráfico 4-12 Flujo VS. Contenido Asfáltico	72
Gráfico 4-13 Peso Específico Bulk VS. Contenido Asfáltico.....	78
Gráfico 4-14 Índice de Vacíos VS. Contenido Asfáltico.....	78
Gráfico 4-15 Vacíos en Agregados Minerales VS. Contenido Asfáltico.....	79
Gráfico 4-16 Vacíos Llenos de Asfaltos VS. Contenido Asfaltico.....	79
Gráfico 4-17 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico.....	80
Gráfico 4-18 Flujo VS. Contenido Asfáltico	80
Gráfico 4-19 Peso Específico VS. Contenido Asfáltico	87
Gráfico 4-20 Índice de Vacíos con Aire VS. Contenido Asfáltico	87
Gráfico 4-21 Vacíos en Agregados Minerales VS. Contenido Asfáltico.....	88
Gráfico 4-22 Vacíos Llenos de Asfaltos VS. Contenido Asfáltico.....	88
Gráfico 4-23 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico.....	89

Gráfico 4-24 Flujo VS. Contenido Asfáltico	89
Gráfico 4-25 Comparación de resultados de las Densidades Promedio Bulk Vs. Contenido Asfaltico	91
Gráfico 4-26 Comparación de resultados de las Estabilidades Promedio Vs. Contenido Asfaltico.	92
Gráfico 4-27 Comparación de resultados de los Flujos Promedio Vs. Contenido Asfáltico	93

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.”**

Autora: Fernanda Guamanquispe

Tutor: Ing. Mg. Fricson Lutgardo Moreira Cedeño

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizaron muestras para determinar las diferencias que existen entre una mezcla de asfalto convencional y muestras de asfalto modificadas con distintos porcentajes de fibras de llantas caucho reciclado y diferentes tamaños de las fibras. En total se elaboraron 60 briquetas entre convencionales y modificadas las cuales fueron ensayadas y comparadas en laboratorio. Se elaboraron 15 briquetas de muestras de Mezclas Asfáltica convencional con distintos porcentajes de cemento asfáltico desde el 5% hasta el 7% del total de la mezcla. Las otras 15 briquetas se elaboraron con diferente dosificación se reemplaza un 1% del cemento asfáltico por fibras de caucho reciclado, las terceras muestras se elaboran sustituyendo parcialmente el cemento asfáltico por 1.5% de caucho reciclado y por ultimo las cuartas briquetas se elaboraron del mismo modo reemplazando el cemento asfáltico con un 2% de caucho reciclado.

Después de realizadas las briquetas fueron ensayadas y sus resultados comparados para determinar los cambios en las propiedades de las mezclas asfálticas, los resultados que arrojaron las briquetas ensayadas nos revela un mejoramiento de las propiedades en las mezclas asfálticas modificadas.

EXECUTIVE SUMMARY

Samples were made to determine the differences between a mixture of conventional asphalt and modified asphalt samples with different percentages of recycled rubber tire fibers and different fiber sizes. In total, 60 briquettes were made between conventional and modified, which were tested and compared in the laboratory. Fifteen sample briquettes of conventional asphalt mixtures were prepared with different percentages of asphalt cement from 5% to 7% of the total of the mixture. The other 15 briquettes were made with different dosage, replacing 1% of the asphalt cement with recycled rubber fibers, the third samples are made by partially replacing the asphaltic cement with 1.5% recycled rubber and finally the fourth briquettes were made in the same way Replacing asphalt cement with 2% recycled rubber.

After the briquettes were tested and their results compared to determine the changes in the properties of the asphalt mixtures, the results of the briquettes tested revealed an improvement in the properties of the modified asphalt mixtures.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.

1.2 ANTECEDENTES

En muchos países se han implementado formas de eliminar los desechos sólidos, ya sea por medio de una planta de separación, selección o tratamiento, o por la elaboración de otros compuestos a partir de estos desechos, por esto se hace necesario que nuestro país, que está encaminado a disminuir la contaminación ambiental comience a desarrollar proyectos que ayuden a mitigar estos impactos. “Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos perjudican el entorno del ecosistema. Cabe recalcar que la reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura fiebres y encefalitis, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza”.

En Ecuador la economía ha crecido en los últimos cinco años, lo cual provoca que los neumáticos y el parque automotor a través del tiempo han ido aumentando masivamente su producción a nivel local, de la misma manera han incrementado los problemas medioambientales, debido a la gestión de eliminación de dichos componentes, la baja degradación, el riesgo de incendio con importantes impactos

asociados, su forma y volumen y su escasa densidad, lo han convertido en un residuo muy estudiado y polémico en las últimas décadas.

Se han descubierto actualmente diversos métodos para la recuperación de neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos, estos mismos causan altos riesgos al medio ambiente al no tener una forma técnica para su recolección. Las operaciones de reutilización, reencauchado en nuestro país bajo la norma INEN 2582 y reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) bajo la norma INEN 2680, representan una gran oportunidad para la creación e innovación de esta nueva industria, tecnología y fuente de empleos en nuestro país. Una forma de empleo de la reutilización de las llantas es la de obtener o formar mezclas asfálticas en caliente o en frío para carreteras. Estas mezclas han sido probadas y estandarizadas en Colombia, Chile, México, España y entre otros países, dando excelentes resultados. Es debido a esto, donde se hace tangible la idea de negocio bajo una propuesta, pues la gestión final de las llantas, requiere de empresas especializadas en el tema, este proyecto pretende suplir esta necesidad y dar un valor agregado, por medio de la creación de una empresa recicladora de neumáticos usados a través de su trituración, obteniendo como producto final la mezcla de asfalto en frío para su posterior comercialización.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el mundo moderno un grave problema medioambiental es el desecho de los neumáticos. Las principales dificultades generadas por este residuo, tienen que ver con su disposición final, dado que la mayoría de los neumáticos fuera de uso, se encuentran dispuestos en sitios que no cumplen ningún tipo de reglamentación para su disposición, ocupando gran espacio y por ser considerados desechos sólidos deben ser enterrados, almacenados y en el peor de los casos destruidos por incineración. La acumulación de neumáticos incrementa la posibilidad de incendios y la posible emanación de gases tóxicos. La solución a este problema que se plantea con los neumáticos fuera de uso, pasa por la búsqueda de vías capaces de valorizar adecuadamente este residuo bajo condiciones económicas aceptables y en cantidades suficientes como para hacer frente al elevado

incremento de cargas por tránsito que se generan anualmente sobre los pavimentos. [1]

La llanta está compuesta principalmente del caucho, el cual es extraído de algunas plantas, la más importante de estas la HEBEA, y otros componentes químicos, estas llantas demoran en degradarse más de 500 millones de años, por lo que nos obliga a nosotros como seres humanos, quienes somos los principales beneficiarios de este producto, a buscar métodos de reutilización, para poder así aprovechar este recurso sin una contaminación muy amplia.

En nuestro país Ecuador, solo en la ciudad de Cuenca se recolecta un aproximado de 18 toneladas de llantas mensuales, según una encuesta realizada a la Empresa Municipal de Aseo (EMAC – Ing. Wilfrido Bermeo), que por la contextura del neumático ocupa demasiado espacio en el relleno sanitario, es por eso que es uno de los desperdicios más difíciles de manejar son las llantas, que al terminar su ciclo de vida útil son eliminadas. El primer inconveniente que representan es que ocupan mucho espacio, por lo que las personas las botan para evitarse molestias.

Así, el país tiene un grave problema con el correcto uso que se les da cuando ya son basura, como explicó Xavier Bustamante, director ejecutivo de Fundación Natura.

Bustamante comentó que en el Ecuador “sólo 30% de los municipios tienen rellenos sanitarios”, de los cuales no muchos tienen un lugar adecuado para la disposición de dichos desperdicios y, lo que es peor, no saben qué hacer con estos para evitar que se sigan acumulando. [2]

Plantas de Asfalto ASTEC – Ecuador Con el respaldo de Grupo Mavesa.

La línea de productos de las plantas Astec está diseñada para cumplir con las necesidades de los productores de hoy. Las plantas de mezcla continua vienen en versiones portátiles, reubicables y estacionarias. Las plantas dosificadoras, están creadas para satisfacer una variedad de necesidades. Esta completa línea de plantas y su variedad de capacidades y características les dan a los clientes de Astec las opciones y la flexibilidad para crear su solución ideal. [3]

Omar Landázuri, Director Provincial del Ambiente de Tungurahua, señaló que conforme lo que contempla el Plan de Gestión Integral de neumáticos usados y en concomitancia con el Acuerdo Ministerial 020. Se trabaja para crear conciencia en el reciclado de neumáticos.

Con este propósito se debe entregar los neumáticos que terminaron su vida útil a los gestores o prestadores de servicios para el manejo de desechos especiales que involucra a personas naturales, jurídicas, públicas y privadas, nacional o extranjeras que dentro del territorio nacional realicen actividades de fabricación, importación, comercialización y distribución. Quienes son los encargados de la implementación y ejecución de planes de gestión integral de desechos durante cinco años. [4]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Comparar las Propiedades Mecánicas del asfalto modificado con polímeros reciclados (caucho de llanta), en relación a un asfalto tradicional.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Elaborar diferentes mezclas de asfalto con la adición de residuos de polímeros reciclados. (llanta)
- Identificar las propiedades mecánicas de las diferentes mezclas mediante ensayos de laboratorio.
- Comparar el desempeño de las mezclas con aditivos poliméricos contra el asfalto convencional.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Tomando en cuenta que en nuestro país y en el mundo las reservas de petróleo van disminuyendo así mismo sus derivados como el asfalto por lo cual es necesario buscar alternativas que ayuden a mejorar las mezclas asfálticas, en la actualidad se estudian mezclas asfálticas modificadas con diferentes tipos de polímeros y con esta se modifica sus propiedades físicas y químicas de las mezclas asfálticas.

Tomando esta medida de modificación de mezclas asfálticas se pretende mejorar el comportamiento de las mismas sometidos a condiciones de carga y del medio ambiente. [5]

2.1.1 Asfalto

El asfalto es un material que puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente que se va a producir en esta investigación.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de los asfaltenos y maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y el oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. [5]

2.1.2 Propiedades Físicas

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Es el componente principal natural de la mayor parte de petróleos, es una sustancia plástica que da flexibilidad a mezcla de áridos que es materiales con los que se mezclan usualmente. Es de color café oscuro y negro; existe de consistencia sólida, semisólida o líquida todo depende de la temperatura a la está expuesta o por la acción de disolventes de volatilidad variable o emulsificación. [6]

2.1.3 Composición Química

Es de mucha utilidad conocer a profundidad la composición química del asfalto, para poder controlar sus propiedades físicas y conseguir un mejor funcionamiento

del pavimento. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos. En el proceso de refinación se pierden los hidrocarburos más ligeros quedando los más pesados que no pueden mantenerse en disolución y se van uniéndose por absorción a las partículas coloidales ya existentes.

Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfaltenos) se encuentran dispersos en un medio aceitoso más ligero (maltenos) compuesto por hidrocarburos saturados, resinas y aromáticos, sin que exista una separación entre estas dos fases sino una transición.

2.1.3.1 Asfaltenos

Son moléculas asociadas, altamente polares, solubles en benceno, CCl₄ y CS₂, e insolubles en n-alcanos de bajo peso molecular, tales como hexano y heptano. Los asfaltenos son sólidos amorfos negros o marrones que contienen carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados como vanadio, níquel y hierro. Los átomos de azufre y oxígeno actúan como enlace entre los grupos anillados.

2.1.3.2 Saturados

Son líquidos incoloros compuestos de cadenas lineales. Los hidrocarburos saturados actúan como antioxidantes e impermeabilizantes, adquieren menor poder de adherencia y causan deformidad al asfalto en pavimento.

2.1.3.3 Resinas

Son compuestos solubles en n-alcanos de bajo peso molecular y son retenidos por absorbentes tales como la alúmina activada o tierras de fuller. Además son líquidos viscosos de color oscuro, son muy adhesivas y son los agentes peptizantes para los asfaltenos.

Las resinas presentan estructuras aromáticas o nafténicas con grupos polares así como de hidrocarburos infatuados y heterocíclicos; ciertas moléculas tienen variedad de átomos de azufre, nitrógeno y oxígeno, además contienen grupos hidroxilos.

2.1.3.4 Aromáticos

Son líquidos de color amarillo o rojo a temperatura ambiente, los cuales poseen estructuras que contienen anillos aromáticos mono, di y polinucleares con conjuntos condensados de anillos nafténicos y cadenas parafinitas asociadas.

2.1.4 Producción del Asfalto

Es obtenida por la destilación de crudo del petróleo. En este proceso se separa las diferentes fracciones fuera del crudo, mediante aumento de etapas de temperatura. Hay dos procesos de destilación con los cuales se produce después de combinar los crudos de petróleo:

1. Destilación por vacío
2. Extracción con solventes

Por destilación simple se separan las fracciones livianas. Los destilados más pesados se pueden separar por una combinación de calor y vacío. Se lo puede producir usando destilación por vacío a la temperatura de 480 C, la cual puede variar dependiendo del crudo de petróleo. En la extracción con solventes se remueven más gasóleos del crudo dejando u asfalto residual.

Depende del uso que se le va a dar es el tipo de asfalto. Se debe controlar las propiedades de los asfaltos para cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra la mayoría de las veces mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de ser procesados, para producir grados intermedios. Así podemos obtener un asfalto con una viscosidad intermedia con la mezcla de un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso.

2.1.5 Caracterización de los Materiales Asfálticos

Las características y propiedades de los materiales asfálticos dependen de la composición química y estructura, dada su complejidad, estos materiales se caracterizan por ensayos empíricos y así determinar las propiedades que tiene que poseer para emplearse como ligante en obra.

Las principales propiedades que deben poseer los asfaltos son:

- **Carácter termoplástico:** su consistencia por acción de temperatura debe disminuir de tal manera que pueda mojar y envolver totalmente los agregados, y al enfriarse adquiera su consistencia primitiva y de cohesión a la mezcla.
- **Buen comportamiento mecánico y geológico** de la estructura de la mezcla asfáltica y así resistir las tensiones que genera el tráfico y mantener las temperaturas de servicio.
- **Resistencia al envejecimiento** con respecto a los factores atmosféricos y condiciones ambientales para no perder sus propiedades con el tiempo.

Estos tres son las propiedades fundamentales de los asfaltos para ser empleados en carreteras.

2.1.5.1 Adhesividad de los Áridos

Para los áridos se adhieran con el asfalto es importante que haya buen contacto entre la superficie del árido y el asfalto, se necesita que existan fuerzas de atracción entre ambos.

La adhesividad árido-ligante es un fenómeno complejo que depende de la naturaleza del asfalto y el árido y de las condiciones específicas de los materiales en obra.

Para valorar la adhesividad se utilizan varios procedimientos lo que nos da la idea de la complejidad del problema entre los que destacamos a los siguientes: Ensayo

de recubrimiento y peladura de asfalto en agregados, Ensayo Vialit, Ensayo de Inmersión-compresión, Ensayo en pista con inmersión.

En este trabajo experimental utilizaremos el ensayo más representativo que es el Ensayo de recubrimiento y peladura.

Ensayo de Recubrimiento y Peladura.- para valorar de forma empírica el comportamiento o la acción del agua sobre la película asfáltica que recubre los agregados es necesario realizar este ensayo mediante adhesividad pasiva que intenta relacionar la afinidad recíproca entre asfalto y agua.

Se podrá juzgar también el comportamiento de un agregado con respecto a un ligante asfáltico tipo y viceversa un agregado tipo con respecto al ligante asfáltico.

El ensayo básicamente consiste en mezclar 100 gramos de asfalto seco de 3/8 de pulgadas con 5% de asfalto. La emulsión asfáltica se mezclará vigorosamente hasta que todas las partículas de agregado queden totalmente cubiertas. Se enfriará a temperatura ambiente por 1 o 2 horas a continuación se verterá en un vaso de cristal de 500cc, y se procede a hervir la mezcla una vez que la mezcla ha hervido dejamos que se mantenga así durante 10 minutos. Los resultados son visuales depende del asfalto desprendido de los agregados. Este ensayo se realiza para verificar la presencia de un aditivo adherente.

2.1.6 Características de las Mezclas Asfálticas

En el estudio de las Mezclas asfálticas es importante conocer las propiedades que deseamos obtener, debido a que la mezcla final debe contar con características de trabajabilidad y ser una mezcla con materiales que permita fundamentalmente obtener las siguientes características.

2.1.6.1. Durabilidad

Resistencia a la desintegración debido a agentes externos ambientales o desgaste producido por el tráfico.

2.1.6.2 Estabilidad

Resistencia a la deformación cuando está sujeta a esfuerzos aplicados.

2.1.6.3 Impermeabilidad

Resistencia al paso de agua o de aire.

2.1.6.4 Flexibilidad

Deformación elástica de la mezcla que le permite deformarse sin fisurarse ni mantener una deformación permanente en la capa de la base.

2.1.6.5 Trabajabilidad

Facilidad de la mezcla para ser colocada expandida y compactada.

2.1.6.6 Resistencia a la Fatiga

Capacidad de soportar esfuerzos provocados por el tránsito.

2.1.6.7 Resistencia al Deslizamiento

Es la capacidad de resistencia al deslizamiento cuando la superficie del pavimento esta mojado.

2.1.7 Diseño de Mezclas Asfálticas

En el diseño de mezclas asfálticas es importante determinar una combinación conveniente de asfalto y agregados que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Estabilidad para satisfacer demandas de transito sin producir deformaciones o desplazamientos.

- Trabajabilidad suficiente para evitar la segregación el momento de colocarlo.
- Suficiente contenido de vacíos, para permitir una compactación ligera adicional producida por la carga de los vehículos sin producir exudación.

2.1.8 Métodos para el Diseño de Mezclas Asfálticas

- Método Marshall
- Método Hubbart Field
- Método de HVEEM
- Triaxial de Smith

De acuerdo con el instituto de asfalto, la aplicación de cada uno de los Métodos está en función del tipo de mezcla que se estudia, las mezclas bituminosas son la combinación de asfalto con agregados de diferentes tamaños, en las mezclas bituminosas gruesas predominan los agregados retenidos en el tamiz #8, y las mezclas bituminosas finas predominan los agregados que pasan el tamiz #8.

En esta investigación utilizaremos el Método Marshall siendo el método más económico y el más adecuado que cumple satisfactoriamente a los requisitos mencionados anteriormente.

2.1.8.1 Método Marshall

Norma AASHTO T-245, ASTM D-1559 AASHTO T-225

2.1.8.2 Generalidades

El ingeniero Bruce Marshall exingeniero de Bitúmenes del departamento de carreteras de Mississippi. El estudio inicio el cuerpo de ingenieros del Ejército en 1943. Su objetivo era determinar el contenido de asfalto óptimo para una combinación adecuada de agregados.

El Método Marshall se aplica solo a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación. Con una penetración y viscosidad especificado y con agregados de 25mm máximo. Usado para el diseño de pavimentos en laboratorios o para el control en campo. Se utilizara probetas normalizadas, y se realizara una serie de muestras, con igual combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto fabricados de acuerdo a procedimientos específicos.

El objetivo principal del método Marshall es obtener la cantidad óptima de asfalto para satisfacer las necesidades requeridas en una mezcla asfáltica ideal, garantizando un pavimento durable que pueda impermeabilizar ligar y recubrir el material pétreo.

2.1.8.3 Caracterización de los Agregados

- Porcentaje de caras fisuradas en los agregados (ASTM D 5821-95)
- Equivalente de arena (ASTM D-2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM D-128)
- Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127)
- Análisis granulométrico (ASTM D-422)

2.1.8.3.1 Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM D-131)

Este método se utilizara para obtener la resistencia al desgaste de los agregados naturales o triturados, utilizando la máquina de los Ángeles.

Los agregados deber resistir el desgaste debido a la producción colocación y compactación en obra y sobre todo durante la vida útil de la obra de pavimentación.

Los agregados son los que transmiten los esfuerzos a través de puntos de contacto donde actúan presiones altas. Este ensayo determina generalmente la resistencia de los puntos de contacto de los agregados al desgaste y/o la abrasión.

Este resultado se lo representa en forma de porcentaje de desgaste, se calcula mediante la diferencia del peso inicial y final de la muestra con respecto al peso inicial.

Ecuación 1: Porcentaje de Desgaste

$$\% \text{desgaste} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

Mientras menos es el porcentaje de desgaste determinado por el ensayo de la máquina de los Ángeles mayores será la resistencia de los agregados para soportar la abrasión debido a las cargas por efecto de tránsito vehicular.

El desgaste máximo permisible es del 35%. Debido a la graduación del material se muestran 4 tipos de abrasión.

Tabla 2-1 Tipos de abrasión

TIPO	RETENIDO	PESO gr.	# DE ESFERAS	REVOLUCIONES	TIEMPO min.
A	1", 3/4", 1/2" Y 3/8"	1250	12	500	17
B	1/2" Y 3/8"	2500	11	500	17
C	1/4" Y #4	2500	8	500	17
D	#8	2500	6	500	17

Fuente: Guamanquispe Fernanda

2.1.8.3.2 Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (ASTM D-127)

Determinar el peso específico aparente y el peso específico “Bulk”, también la cantidad de absorción de agua en el agregado grueso sumergido en agua durante 24 horas, expresado como porcentaje en peso.

Las cantidades para este ensayo se indican en función del tamaño máximo nominal.

Tabla 2-2 Cantidades mínimas para ensayo según el tamaño nominal

Tamaño Máximo Nominal		Cantidad Mínima de muestra
Mm	Pulg	kg
hasta 12.5	½	2
19	¾	3
25	1	4
37.5	1 ½	5
50	2	8
63	2 ½	12
75	3	18
90	3 ½	25

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Las ecuaciones para determinar el peso específico y la absorción:

Ecuación 3: Peso específico BULK

$$PE\ Bulk = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 4: Peso específico Aparente

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

Ecuación 5: Peso específico Saturado

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

Ecuación 6: Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A}$$

Donde:

A= Peso de material seco en horno

B= Peso de material saturado con superficie seca

C= Peso del material en el agua

2.1.8.3.3 Peso Específico Agregado Fino ASTM D=128

Determinaremos el peso específico aparente, al igual que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua durante un tiempo de 24h, expresado como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es una relación entre el peso en el aire del agregado y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del peso específico y la absorción:

Ecuación 9: Peso específico Aparente

$$PE = \frac{A}{A + B - C}$$

Ecuación 10: Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - A}{A}$$

Donde:

PE= Peso específico.

A=Peso del material seco en horno

B= Peso del matraz lleno con agua a 20 C

C= Peso del matraz + agregado + agua a 20 C

2.1.8.3.4 Análisis Granulométrico ASTM D-422

El objetivo del Análisis granulométrico es que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaño y que cada tamaño de este presente en la mezcla de pavimentación en porcentajes dados.

La selección de varios tamaños de partículas del agregado se lo llama graduación del agregado o graduación de la mezcla.

La selección de las muestras graduadas se lo hace por medio de tamizado en seco, figura 2-1, con las siguientes características:

- Los materiales finos y gruesos son separados por medio de tamices de ½”, #4, #8, #50, #200.
- Las muestras deben haber sido secados en el horno hasta mantener un peso constante.
- Las muestras finas y gruesas son tamizadas separadamente.
- Se registra el peso retenido en cada uno de los tamices y el platón del final de los tamices, así como la graduación de cada muestra.



Gráfico 2-1 Toma de muestras

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Se debe cumplir las especificaciones que cumplan la tabla 405-5.1 de las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes según corresponda.

Tabla 2-3 Granulometría para mezclas asfálticas según especificaciones del

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	—	—	—
¾" (19.0 mm.)	90-100	100	—	—
½" (12.7 mm.)	—	90-100	100	—
3/8" (9.50 mm.)	56-80	—	90-100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35-65	44-74	55-85	80-100
Nº 8 (2.36 mm.)	23-49	28-58	32-67	65-100
Nº 16 (2.36 mm.)	—	—	—	40-80
Nº 30 (0.60 mm.)	—	—	—	25-65
Nº 50 (0.30 mm.)	5-19	5-21	7-23	7-40
Nº 100 (0.15 mm.)	—	—	—	3-20
Nº 200 (0.075 mm.)	2-8	2-10	2-10	2-10

Fuente: Especificaciones del MTOP

Para las mezclas asfálticas deberá cumplirse una de las granulometrías indicadas, en este estudio se desarrollara la de ½".

Casi nunca es posible un agregado que cumpla con los requisitos granulométricos especificados, deberá combinarse con los materiales disponibles, hasta conseguir la granulometría esperada la que además deberá cumplir los requerimientos específicos de la siguiente tabla:

Tabla 2-4 Requerimientos de la muestra granulométrica

ENSAYO	ESPECIFICACIONES
Resistencia al desgaste por abrasión	.=<40% INEN 860
Resistencia a la acción de los sulfatos	<12% INEN 863
Recubrimiento y peladura	Adherencia 95% Peladura 5% AAASHTO T 182
Índice plástico pasa el #40	<4
Hinchamiento	1.50%

Fuente: Especificaciones del MTOP

2.1.8.4 Asfaltos

El primer paso para la elaboración de probetas es asignar el material asfáltico y de agregados a ser usados en la mezcla de pavimentos. Con las características de asfaltos determinaremos la fórmula para pavimentación. Esta selección será* realizada mediante Norma AC 20.

Es un material bituminoso de color negro constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad, es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperatura ambiente. Al calentarse se ablanda gradualmente, hasta alcanzar consistencia líquida.

2.1.8.4.1 Caracterización de Asfaltos

Ficha Técnica del Cemento Asfáltico AC-20

Tabla 2-5 Características del cemento Asfáltico AC 20

CARACTERISTICAS	NORMA
DEL CEMENTO ASFALTICO ORIGINAL	
Viscosidad rotacional a 60 C. Máximo , Pa.S	200 +- 40
Viscosidad cinemática a 135 C, s. Mínimo	300
Viscosidad Saybolt Fural a 135 C, s. Mínimo	120
Penetración a 25 C, 100 gr.5 s, 10 mm, mínimo	60
Punto de inflamación Cleveland; C, mínimo	232
Solubilidad, %, mínimo	99
Punto de reblandamiento, C	48-56
DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA	
Perdida por calentamiento, % máximo	0.5
Viscosidad dinámica a 60 C, PaS, máximo	800
Ductilidad a 25 C y 5 cm/min, cm. mínimo	50
Penetración retenida a 25 C, %, mínimo.	54

Fuente: Especificaciones del cemento asfáltico AC 20

2.1.8.4.2 Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto es importante y debe ser cuidadosamente determinada en laboratorio, y controlada con precisión en la obra. El contenido asfáltico de una obra es determinado por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto en una mezcla asfáltica depende básicamente de las características del agregado tales como granulometría y capacidad de absorción.

2.1.8.5 Polímeros (Caucho de Llantá Reciclado)

Los polímeros son sustancias con un alto peso molecular formado por unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamados monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Debido a la baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades de los polímeros su uso ahora es más frecuente.

La utilización comercial de los polímeros depende de sus propiedades y su costo. El costo de la polimerización depende básicamente de su proceso de fabricación y disponibilidad de los monómeros. Las principales fuentes primarias de monómeros son:

- Productos naturales
- Hulla o carbón mineral
- Petróleo

2.1.8.5.1 Producción de polímeros

Al igual que muchos materiales los polímeros se los obtiene en plantas industrializadas de materias primas. En el proceso de polimerización existen 2 tipos:

Polimerización en Cadena: se lleva a cabo utilizando temperaturas elevadas y presiones bajas, las estructuras más frecuentes son los hidrocarburos.

Polímeros de reacción por pasos: se unen dos monómeros en grupos cortos que crecen gradualmente, y también se libera un derivado de bajo peso molecular. En estos polímeros la longitud promedio de la partícula es controlada cuando se lleva a cabo la reacción.

2.1.8.5.2 Polímero de llanta reciclada utilizada en la modificación de asfaltos

Al año son arrojadas y descartadas más de mil millones de llantas que van a parar a rellenos sanitarios, donde en mínima medida son aprovechadas y reutilizadas, donde en muchos lugares encuentran como única salida la quema para sacar de ellas los hilos metálicos dentro de ellas, este humo es altamente contaminante, y nocivo para la salud pública.

La adición de caucho de llanta pulverizada en el asfalto es técnica utilizada para el mejoramiento de los cementos asfálticos en la pavimentación, mejorando a sus características plásticas, de penetrabilidad y punto de ablandamiento, dando como

resultado no solo un asfalto que constituye una solución novedosa al cuestionamiento dado desde el inicio de la industria automotriz.

2.1.8.6 Mezclas Asfálticas Modificadas

La modificación de asfaltos es una técnica nueva utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en pavimentación de vías. Con el fin de mejorar las características mecánicas del asfalto convencional se adiciona polímeros.

Los polímeros modificadores son agentes que mejoran el comportamiento reológico de las mezclas asfálticas. Un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico.

Los asfaltos varían de acuerdo a la temperatura a la que están expuestas, por ello es que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debe ser la más baja posible.

El caucho tiene un comportamiento elastomérico donde el polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno y además absorbe los aceites maltenos y se hinchan.

Los asfaltos modificados quedan así constituidos por dos fases diferenciables:

1. Polímero
2. Ligante Asfáltico

Cuando hay bajas concentraciones de polímeros existe una matriz continua de ligante asfáltico en la que se encuentra disperso el polímero, a altas concentraciones de ligante asfáltico se invierten las fases.

2.1.8.7 Ensayos para desarrollar el Método Marshall

2.1.8.7.1 Ensayo de Peso Específico del Asfalto ASTM D-70

Es la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura a los 25C

Además de certificar la calidad y origen del material, el peso específico útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación.

Equipo

- Picnómetro
- Baño de agua
- Termómetro
- Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- Balanza
- Asfalto

Procedimiento

Calibración del picnómetro.- se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón, enjuagándolo con agua destilada y secándolo. La limpieza se debe realizar en cada calibración, después de secado, se deja el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa el picnómetro vacío.

Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando el tapón sin ajustarlo. Se sumerge el picnómetro en el vaso y entonces ahí se ajusta el tapón, sin dejar burbujas de aire en el picnómetro, el vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25C.

Se deja el picnómetro en el interior del vaso por 30 minutos mínimo, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón cuidadosamente con un trapo seco, a continuación se seca rápidamente el picnómetro y se pesa.

Preparación de la muestra.- Calentar con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser fluida para verterla. Se vierte una cantidad suficiente dentro del picnómetro previamente secado y limpio llenando tres cuartos de su capacidad. Se deja enfriar a temperatura ambiente el picnómetro con asfalto por un tiempo de 40 minutos y pesar con el tapón.

Se llena el picnómetro con asfalto con agua destilada colocando firmemente el tapón en el picnómetro, colocar el picnómetro en el vaso y ajustar. Retornar el vaso al baño de agua a 25C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante 30 minutos sacar y pesar.

2.1.8.7.2 Abrasión Máquina de los Ángeles ASTM C-131

Con este ensayo determinaremos la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, empleando la Máquina de los Ángeles con una carga abrasiva.

Equipo

- Balanza
- Horno
- Tamices (3/4", 1/2", 3/8", #12)
- Máquina de los ángeles
- Esferas de acero de 46.38mm diámetro y 390gr.
- Agregado grueso

Procedimiento

La muestra del agregado debe estar limpio lavado y secado en el horno hasta que obtenga una temperatura constante, separada por fracciones de tamaño y

combinadas granulométricamente con una de las indicaciones de la Tabla 2. El tipo de muestra será de tipo B esta muestra será pesada.

La muestra de agregado junto con las esferas de acero se coloca en la Máquina de los Ángeles, y se la hace girar el cilindro 500 vueltas a una velocidad constante y uniforme entre 188 y 208 rad/min (30 y 33 r.p.m.). Después del número de vueltas prescrito, se descarga el cilindro y se tamiza separando el material retenido en el tamiz #12 se lava y seca al horno a una temperatura comprendida entre 105 y 110C y se pesa la muestra.

2.1.8.7.3 Peso Específico Agregado Fino ASTM D-128

Determinaremos el peso específico aparente y la cantidad de absorción de agua en el agregado fino después de sumergido por 24 horas, expresado como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Equipo

- Balanza
- Tamiz #4
- Matraz aforado
- Molde cónico
- Varilla para apisonado
- Bandeja
- Agregado fino

Procedimiento

Se selecciona una muestra homogénea de material fino tamizado que pasa por el tamiz #4 aproximadamente una muestra de 1000gr secada en el horno a un peso constante y enfriado al aire durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, a

continuación se cubre la muestra con agua completamente durante un periodo de 24 horas.

Después del periodo de inmersión, se estila cuidadosamente la mezcla para no perder finos y se extiende la muestra sobre la bandeja, y se deja secar al aire moviendo constantemente las partículas, hasta que las partículas puedan fluir libremente.

Para fijar este punto, se realiza la prueba del cono colocando su diámetro mayor en una superficie plana no absorbente y colocando la muestra con la ayuda de un embudo dentro del cono y apisonando con varilla 25 golpes, seguidamente se retira el cono verticalmente y si se desmorona superficialmente la muestra es indicativo de que la muestra esta lista.

Inmediatamente se introduce 500gr de la muestra en el picnómetro y se llena con agua hasta la marca de aforo. Se elimina las burbujas de aire y se determina su peso total.

2.1.8.7.4 Peso Específico y Absorción Agregado Grueso ASTM D-127

Determinaremos el peso específico aparente y nominal, así como la absorción de agua después de sumergido el agregado por 24 horas, la muestra será de las partículas mayores al tamiz #4.

Equipo

- Balanza
- Tamiz #4
- Canastilla metálica
- Dispositivo de suspensión
- Agregado grueso

Procedimiento

Se separa la muestra tamizándola mayor al tamiz #4 la cantidad necesaria para el ensayo depende del tipo de agregado indicadas en la Tabla #3, en este caso el tamaño nominal de ½” la cantidad de la muestra será 2kg.

La muestra se lava y se seca al horno a 100 o 110C a peso constante y se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa la muestra y se sumerge la muestra durante 24 horas.

Después del periodo de inmersión se seca la muestra con un franela hasta que se elimina el agua superficial visible de cada fragmento, a continuación se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (sss).

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se pesa sumergida en el agua, a una temperatura de 25C. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la toma de peso.

Se seca entonces la muestra en el horno a una temperatura de 100 a 110C se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta un peso constante.

2.1.8.7.5 Granulometría ASTM C-71

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar las partículas gruesas de las finas, esta separación se hace mediante la colocación de tamices de malla cuadrada.

Equipo

- Balanza
- Tamices de malla cuadrada (1”, ¾”, ½”, 3/8”, #4, #8, #30, #50, #100, #200)
- Bandejas metálicas

- Cepillo de acero
- Brocha
- Agregado fino
- Agregado grueso

Procedimiento

Granulometría agregado grueso

Se toma la muestra y se la coloca sobre los tamices previamente colocados en orden por su tamaño 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #30, #50, #100, #200 con la ayuda de otra persona se toma los tamices y se efectúan movimientos laterales así facilitaremos que las partículas pasen o se retengan en cada uno de los tamices.

Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total de la muestra, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de mayor tamaño, estos pesos acumulados se dividen para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada una de los porcentajes acumulados nos da el porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente.

Granulometría Agregado Fino

Se realiza un tamizado en los tamices pequeños redondos de la muestra y se recoge el agregado retenido en cada uno de los tamices ayudándonos con un cepillo de acero para recoger todas las partículas.

Al igual que con el agregado grueso se pesa cada tamiz retenido y se suma las muestras recogidas esta suma debe ser igual a la masa total de la muestra ensayada y los resultados se dan en porcentajes al igual que el agregado grueso.

2.1.8.7.6 Preparación de la Mezcla Asfáltica

Equipo

- Compactadora mecánica de briquetas
- Martillo de compactación
- Dispositivo para moldear probetas
- Extractor de probetas
- Balanza eléctrica
- Bandejas metálicas
- Placa de calentamiento
- Termómetro blindado
- Espátula
- Mezcla de agregados
- Asfalto
- Varilla de punta redonda
- Pelador de chanchos

La temperatura a calentar el cemento asfáltico será la que proporcione una viscosidad Saybolt-Furol de 85 y 140 segundos, la misma que se debe emplear para la mezcla con los agregados a ser compactados.

Se debe calentar la muestra de agregados y esta debe superar en al menos 20°C la del cemento asfáltico durante la mezcla.

Generalmente se utilizan para el diseño cinco porcentajes diferentes de cemento asfáltico, por lo cual se define que necesario elaborar 15 probetas para ensayo mínimo por cada porcentaje de caucho a añadirse. En este estudio comenzaremos con un porcentaje de 5% de cemento asfáltico con respecto a la mezcla total elaborándose las muestras de probetas con incrementos del 0.5% del porcentaje inicial así:

3 de 5%

3 de 5.5%
3 de 6%
3 de 6.5%
3 de 7%
Un total de 15 muestras

En cada probeta se realizará la mezcla adecuada de cada fracción de agregados y cemento asfáltico para alcanzar un peso total de 1200gr.

Si la muestra tiene un 5% de cemento asfáltico el 95% restante será de agregado pétreo.

Se pesara cada fracción de agregados indicada y se colocara en la bandeja de mezcla a la temperatura especificada y bien mezclada, se abre un cráter en el centro de la mezcla para colocar la cantidad de asfalto calculada y previamente calentado.

Este procedimiento se repite para cada una de las probetas a realizar.

Compactación de la muestra

Antes de colocar la mezcla de asfalto el molde y el martillo de compactación deben ser limpiados engrasados y calentados a una temperatura de 140°C.

Seguidamente se coloca la muestra de mezcla asfáltica dentro del molde con collar y se lo hace en tercios primero se coloca un tercio del molde y con la varilla se da 25 golpes para emparejar la mezcla en el molde y así los otros 2 tercios con un espátula se enraza la muestra los 1200 gr.

A continuación se sujeta el molde con el aro de ajuste y se aplica con el martillo 75 golpes a caída libre y verticalmente.

Se retira el molde del pedestal el collar y se deja enfriar por un mínimo de 2 horas antes de desmoldar las muestras.

Después de desmoldar las probetas se debe identificar a cada una con una marca. Se pesa la probeta en seco y se mide su espesor.

Finalmente se deja secar y enfriar la muestra sobre una superficie lisa y ventilada durante toda la noche.

Ensayo de probetas compactadas

En el método de ensayo Marshall cada muestra compactada se somete a los ensayos en el orden indicado:

- Determinación del peso específico “Bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos

2.1.8.7.7 Determinación del peso específico “Bulk”

Al siguiente día frío las muestras la densidad aparente de las briquetas se determina calculando la relación entre su peso en el aire y el peso en el agua.

Ecuación 11: Densidad Aparente

$$D = \frac{Pa}{Pa - Pag}$$

Donde:

Pa= peso de la probeta en el aire en gramos

Pag= peso de la probeta en el agua en gramos

2.1.8.7.8 Ensayo de Estabilidad y Flujo

Antes del ensayo, se sumerge las briquetas en baño de agua a 60°C durante un tiempo de 30 minutos como mínimo.

Se limpian perfectamente las superficies de las briquetas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21° y 38°C. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Verificar previamente que el indicador de la carga del dial del anillo este encendido.

Colocamos las briquetas en la mordaza y se aplica la carga a una velocidad de deformación constante, hasta que se produce la falla. El punto de falla se define por la carga máxima obtenida. El valor de carga máxima obtenida que produce la falla de la biqueta a 60°C será el valor de ESTABILIDAD MARSHALL.

2.1.8.7.9 Ensayo de la Densidad Máxima Teórica

ENSAYO RICE ASTM D-2041

Determina la gravedad y densidad máxima teórica de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25°C.

Equipo

- Frasco volumétrico capacidad 2000ml.
- Balanza
- Muestra de ensayo

Procedimiento

Calibrar el frasco para determinar exactamente el peso del agua a 25°C para llenarlo.

Las mezclas asfálticas preparadas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico son enfriadas al ambiente para luego ser pesadas

Se agrega suficiente agua para cubrir la muestra de mezcla asfáltica.

Mediante movimientos agitar el recipiente con los contenidos por alrededor de 15 minutos se retira el aire atrapado. Se pesa el recipiente con los contenidos completamente llenos.

Ecuación 12: Densidad Máxima

$$D_{max} = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde:

A= Peso de la muestra seca en el aire, en gr

B= Peso del recipiente lleno con agua a 25°C, en gr

C= Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C, en gr

2.1.8.8 Ensayos para desarrollar el Método Marshall para Mezclas Modificadas.

Para elaborar las briquetas con las mezclas asfálticas modificadas con caucho de llanta reciclada, es necesario seguir el mismo procedimiento que con las briquetas de las mezclas asfálticas convencionales. La única modificación se hará en la elaboración de la mezcla asfáltica, añadiendo el material modificador en este caso el caucho de llanta reciclado.

Equipo

- Compactadora mecánica de briquetas
- Martillo de compactación
- Dispositivo para moldear probetas
- Extractor de probetas
- Balanza eléctrica
- Bandejas metálicas

- Placa de calentamiento
- Termómetro blindado
- Espátula
- Mezcla de agregados
- Caucho de llanta reciclada
- Asfalto
- Varilla de punta redonda
- Pelador de chanchos

La temperatura a calentar el cemento asfáltico será la que proporcione una viscosidad Saybolt-Furol de 85 y 140 segundos, la misma que se debe emplear para la mezcla con los agregados a ser compactados.

Se debe calentar la muestra de agregados y esta debe superar en al menos 20°C la del cemento asfáltico durante la mezcla.

Generalmente se utilizan para el diseño cinco porcentajes diferentes de cemento asfáltico, por lo cual se define que necesario elaborar 15 probetas para ensayo mínimo por cada porcentaje de caucho a añadirse. En este estudio comenzaremos con un porcentaje de 5% de cemento asfáltico con respecto a la mezcla total elaborándose las muestras de probetas con incrementos del 0.5% del porcentaje inicial así:

3 de 5%

3 de 5.5%

3 de 6%

3 de 6.5%

3 de 7%

Un total de 15 muestras convencionales

Para cada porcentaje de cemento asfáltico añadiremos un porcentaje de partículas de caucho reciclado de cada tamaño de partículas en la mezcla. En este estudio realizamos probetas con 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% de asfalto y para cada uno de

estos porcentajes de asfalto le añadiremos un porcentaje de caucho con porcentajes de adición como se explica en la Tabla 6.

Tabla 2-6 Briquetas según su porcentaje de asfalto caucho y porcentaje de partículas de caucho

# DE BRIQUETAS	% ASFALTO	% CACUCHO RECICLADO
3	5%	0
3	5.5%	0
3	6%	0
3	6.5%	0
3	7%	0
3	5%	1%
3	5.5%	1%
3	6%	1%
3	6.5%	1%
3	7%	1%
3	5%	1.5%
3	5.5%	1.5%
3	6%	1.5%
3	6.5%	1.5%
3	7%	1.5%
3	5%	2%
3	5.5%	2%
3	6%	2%
3	6.5%	2%
3	7%	2%

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Como se muestra en la tabla el número total de briquetas según cada porcentaje que se estudiara y el tamaño de partículas que se adicionara será de 60 briquetas.

En cada probeta se realizara la mezcla adecuada de cada fracción de agregados y cemento asfaltico para alcanzar un peso total de 1200gr.

Si la muestra tiene un 4% de cemento asfaltico el 1% de partículas de caucho reciclado, el 95% restante será de agregado pétreo.

Se pesara cada fracción de agregados indicada y se colocara en la bandeja de mezcla a la temperatura especificada y bien mezclada, se abre un cráter en el centro de la mezcla para colocar la cantidad de asfalto calculada y previamente calentado al igual que el caucho y se lleva a fuego por un tiempo de 15 minutos hasta que el caucho se funda con el material.

Este procedimiento se repite para cada una de las probetas a realizar.

Compactación de la muestra

Antes de colocar la mezcla de asfalto el molde y el martillo de compactación deben ser limpiados engrasados y calentados a una temperatura de 140°C.

Seguidamente se coloca la muestra de mezcla asfáltica dentro del molde con collar y se lo hace en tercios primero se coloca un tercio del molde y con la varilla se da 25 golpes para emparejar la mezcla en el molde y así los otros 2 tercios con un espátula se enraza la muestra los 1200 gr.

A continuación se sujeta el molde con el aro de ajuste y se aplica con el martillo 75 golpes a caída libre y verticalmente.

Se retira el molde del pedestal el collar y se deja enfriar por un mínimo de 2 horas antes de desmoldar las muestras.

Después de desmoldar las probetas se debe identificar a cada una con una marca. Se pesa la probeta en seco y se mide su espesor.

Finalmente se deja secar y enfriar la muestra sobre una superficie lisa y ventilada durante toda la noche.

Ensayo de probetas compactadas

En el método de ensayo Marshall cada muestra compactada se somete a los ensayos en el orden indicado:

- Determinación del peso específico “Bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos

Todos los ensayos se realizarán de igual forma que con la mezcla convencional.

2.2 HIPÓTESIS

A medida que pasa el tiempo está más en boga la preocupación por el medio en que vivimos y para reducir desechos no degradables es necesario la reutilización de estos, una de las ideas de reutilización en el sector de la construcción es la de incorporar fibras de caucho reciclado de llantas a la mezcla asfáltica con lo que se pretende el mejoramiento de las propiedades mecánicas y la reducción de costos en la elaboración de mezclas asfálticas modificadas.

Se presume que la adición de caucho de llanta reciclado dependiendo de factores como el clima, la temperatura, carga a ser expuesta, y una buena dosificación con un porcentaje óptimo de asfalto este mejorará las condiciones y propiedades del cemento asfáltico.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

Variable independiente

Adición de la fibra de caucho de llantas recicladas en la mezcla asfáltica.

Variable dependiente

Análisis y ensayos de las briquetas de mezclas asfálticas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se aplica en el presente estudio es de nivel exploratorio, descriptivo y correlacional.

Es de nivel exploratorio, debido a que conlleva a posibles variables en el análisis de dosificación de estudio.

Es de carácter descriptivo, ya que mediante la combinación de varias muestras se determinara el grado de validez de las dosificaciones utilizadas.

Es de carácter correlacional, de modo que se diferencian las características de un asfalto convencional con un asfalto modificado.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Alrededor del mundo millones de llantas van a parar en rellenos sanitarios causando una contaminación Ambiental, la reutilización de este material es en cantidades mínimas. La pulverización de llantas para ser utilizada en pavimentos asfálticos es un estudio que se está realizando para comprobar el comportamiento de las características del pavimento. La elaboración de briquetas dependerá del número de muestras de porcentajes que se desee estudiar.

En este estudio se realizara un total de 60 briquetas de pavimento asfaltico para ser comparadas dependiendo del porcentaje de asfalto y caucho a incorporarse en la mezcla. Las mismas que serán ensayadas para determinar sus propiedades.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente

Adición de la fibra de caucho de llantas recicladas en la mezcla asfáltica.

Tabla 3-1 Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TÉCNICAS INSTRUMENTOS ^E
Aplicación de las normas AASHTO y ASTM aplicadas a mezclas bituminosas asfálticas, incorporando fibra de llanta reciclada.	Fibra de caucho de llanta reciclado	Cantidad	Cuál será la cantidad necesaria de fibra de caucho reciclado?	-Análisis de cálculos en laboratorio
	Tamaño de las partículas del caucho de llanta reciclado.	Tamaño	Cuál será el tamaño óptimo de la fibra de caucho a ser utilizada?	-Porcentajes óptimos
				Observación: #2 #3 #4

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Variable Dependiente

Análisis y ensayos de las briquetas de mezclas asfálticas.

Tabla 3-2 Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TÉCNICAS INSTRUMENTOS	E
Los ensayos para determinar las propiedades de las briquetas nos permitirán determinar la calidad del asfalto.	Ensayo del Método Marshall	Materiales y Equipos	Qué tipo de materiales y equipos se utilizaran	Observación: -Agregados -Máquina Marshall	
	Calidad del Asfalto	Muestreo	Cuál es la Estabilidad y Flujo determinada en el ensayo	Observación: Norma ASTM D-1559 para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas	
		Calidad	Que factores inciden en la calidad del pavimento asfáltico	Observación: -Temperatura -Calidad de agregados -Calidad de Asfalto -Compactación	

Fuente: Guamanquispe Fernanda

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 3-3 Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none">• Comparar las propiedades Mecánicas de Asfalto Modificado al Asfalto Convencional.
¿De qué personas u objetos?	<ul style="list-style-type: none">• De briquetas de asfalto convencional y asfalto modificado
¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la compresión de Asfaltos.
¿Quién?	<ul style="list-style-type: none">• Fernanda Guamanquispe
¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.• Investigación bibliográfica• Laboratorios del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Municipalidad de Ambato.

Fuente: Guamanquispe Fernanda

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El plan de procesamiento y análisis será estructurado de la siguiente manera:

- Revisión de la Bibliografía.
- Recolección de datos previos.
- Recolección de materiales para ensayos.
- Elaboración de briquetas convencionales.
- Elaboración de briquetas modificadas con caucho de llanta reciclada.
- Ensayo de briquetas.
- Comparación de resultados obtenidos entre briquetas convencionales y modificadas.
- Determinar el grado de validez de elaborar asfaltos modificados con caucho de llanta reciclado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS


4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el presente capítulo, se cuenta con datos reales obtenidos de 60 briquetas de pavimento asfáltico convencional y modificado con caucho de llanta reciclado, con 3 tipos de tamaño de fibras las cuales fueron ensayadas mediante el Método Marshall.

4.1.1 Ensayos realizados al Asfalto

Peso Específico del Asfalto

Tabla 4-1 Peso Específico del Asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.		
ORIGEN:	Constructora Alvarado - Ambato	
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia	
FECHA:	17/ago/2016	
NORMA:	ASTM D-70	
"PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO"		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	VALOR
Masa del frasco (picnómetro) + agua	m1	69.02
Masa del frasco (picnómetro)	m2	37.75
(m1-m2)	m3	31.27
Peso del picnómetro + Cemento Asfáltico	m4	48.99
Masa del frasco (picnómetro)	m5	26.73
(m4-m5)	m6	22.26
Peso del picnómetro + Asfalto + Agua para llenar el picnómetro	m7	75.99
Peso del picnómetro + Cemento Asfáltico	m8	67.19
(m7-m8)	m9	8.80
(m3-m9)	m10	22.47
Gravedad específica	m6/m10	0.991

Fuente: Guamanquispe Fernanda

4.1.2 Ensayos realizados a los Agregados

Resistencia al desgaste por abrasión

Tabla 4-2 Resistencia al Desgaste por Abrasión

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.		
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato	
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia	
FECHA:	05/jul/2016	
MUESTRA:	5000 gr	
NORMA:	ASTM C-131	
"RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION"		
Descripción	U	VALOR
Masa de la Muestra	gr	5000
Masa Retenida en el Tamiz N° 12 Despues de 500 Revoluciones	gr	3820
Masa que Pasa el Tamiz N° 12	gr	1180
Porcentaje de Desgaste	%	23.6

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Densidad Real del Agregado Fino

Tabla 4-3 Densidad Real del Agregado Fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	05/jul/2016		
NORMA:	ASTM D-128		
"DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Masa del frasco (picnómetro)	m1	gr	152.78
Masa del frasco + agregado sss	m2	gr	202.61
Masa del frasco + agregado sss + agua	m3	gr	679.82
Masa del agua añadida (m3 - m2)	m4	gr	477.21
Masa del frasco + 500 cc de agua	m5	gr	650.01
Masa de 500cc de agua (m5 - m1)	m6	gr	497.23
Densidad del Agua (m6/500cc)	da	gr/cc	0.99
Masa del agua desalojada por el agregado (m6 - m4)	m7	gr	20.02
Masa del agregado (m2 - m1)	Msss	gr	49.83
Volumen de agua desalojada = Volumen de agregado añadido (m7/d	Vsss	cc	20.13
DENSIDAD REAL DE LA ARENA EN (Msss/Vsss)	DRA	gr/cc	2.475

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Capacidad de Absorción del Agregado Fino

Tabla 4-4 Capacidad de Absorción del Agregado Fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.				
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato			
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia			
FECHA:	06/jul/2016			
NORMA:	INEN 856			
"CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO"				
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR	
Masa del recipiente (gr)	m1	gr	24.02	24.28
Masa del recipiente + muestra sss	m2	gr	149.68	143.89
Masa de la muestra sss	m3	gr	125.66	119.61
Masa del recipiente + muestra seca	m4	gr	147.42	141.48
Masa de la muestra seca	m5	gr	123.40	117.20
Capacidad de absorción	m6	gr	1.83	2.06
Capacidad de absorción promedio	da	gr/cc	1.944	

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Densidad Real del Agregado Fino

Tabla 4-5 Densidad Real del Agregado Grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	06/jul/2016		
NORMA:	ASTM D-127		
"DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Masa de la canastilla en el aire	m1	gr	1256.01
Masa de la canastilla en el agua	m2	gr	1075.99
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	m3	gr	4722.03
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	m4	gr	3224.98
Densidad real del agua	da	gr/cc	1.00
Masa de la muestra SSS en el aire (m3 - m1)	m5	gr	3466.02
Masa de la muestra SSS en el agua (m4 - m2)	m6	gr	2148.99
Volumen real de la muestra (m5 - m6)/da	Vr	cc	1317.03
Densidad real m5/vr	DR	gr/cc	2.632

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

Tabla 4-6 Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.					
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato				
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia				
FECHA:	06/jul/2016				
NORMA:	INEN 857				
DESCRIPCIÓN		NOMENC.	U	VALOR	
Masa del recipiente (gr)		m1	gr	25.56	26.37
Masa del recipiente + muestra sss		m2	gr	153.38	155.57
Masa de la muestra sss		m3	gr	127.82	129.20
Masa del recipiente + muestra seca		m4	gr	151.08	153.2
Masa de la muestra seca		m5	gr	125.52	126.85
Capacidad de absorción		m6	gr	1.83	1.85
Capacidad de absorción promedio		da	gr/cc	1.842	

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Recubrimiento y Peladura

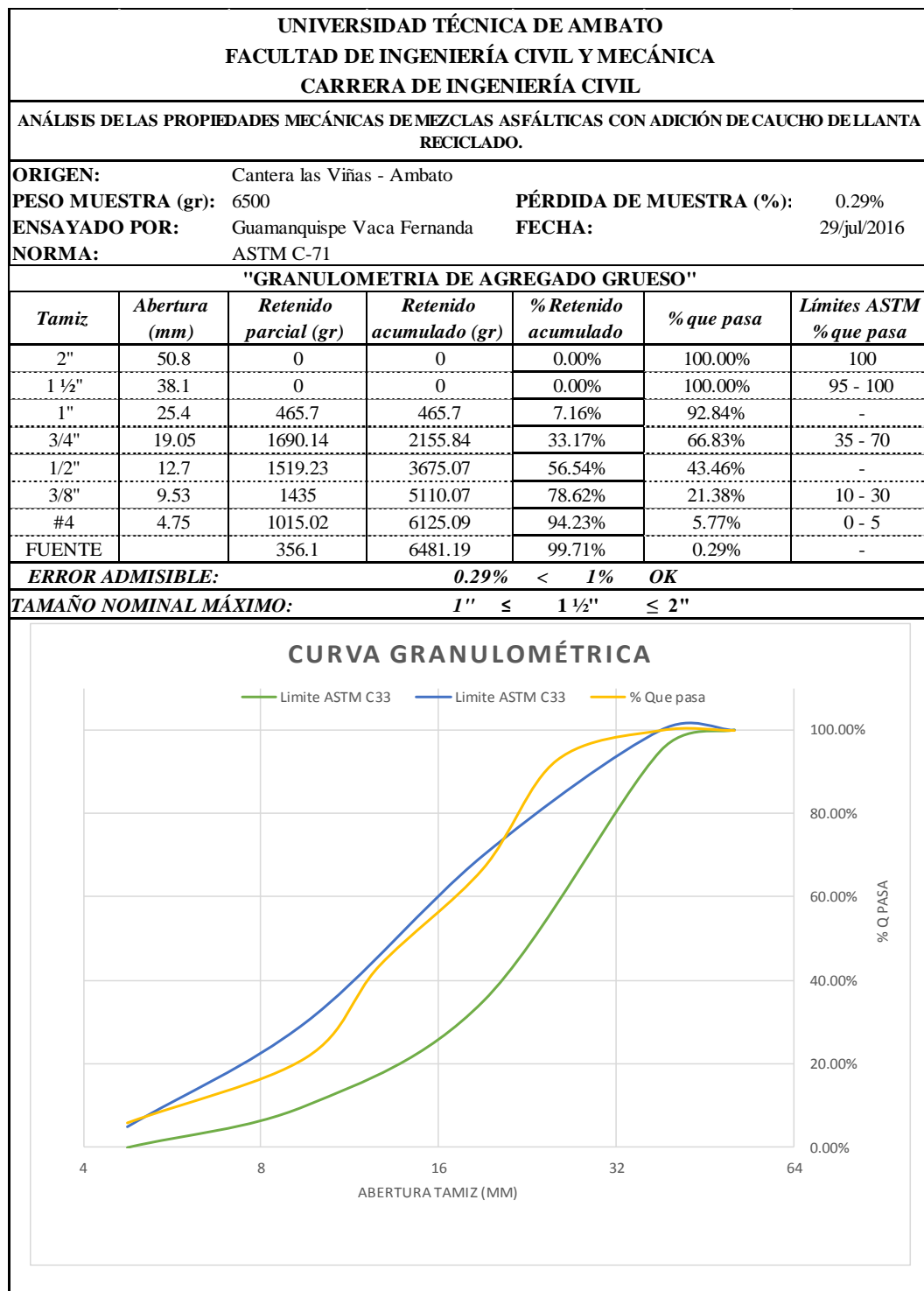
Tabla 4-7 Recubrimiento y Peladura

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.		
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato	
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia	
FECHA:	15/ago/2016	
NORMA:	ASTM-3625	
Descripción	U	VALOR
Recubrimiento	%	95
Peladura	%	5

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Granulometría del Agregado Grueso

Tabla 4-8 Granulometría Agregado Grueso



Fuente: Guamanquispe Fernanda

Asfalto Convencional

Gravedad Específica Teórica Máxima (RICE)

Tabla 4-9 Gravedad específica teórica máxima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7407.78
Peso Frasco	m2	gr	2905.30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4117.00
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1211.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8112.00
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.388

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-10 Gravedad específica teórica máxima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.28
Peso Frasco	m2	gr	2904.30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4098.45
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1194.15
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8097.00
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.372

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-11 Gravedad específica teórica máxima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2908.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4092.00
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1183.80
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8090.00
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.367

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-12 Gravedad específica teórica máxima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7407.20
Peso Frasco	m2	gr	2908.15
Peso muestra + frasco	m3	gr	4110.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1202.05
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8096.00
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.342

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-13 Gravedad específica teórica máxima

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	7%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.45
Peso Frasco	m2	gr	2905.30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4078.00
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1172.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8076.10
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.331

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Los cálculos se realizan mediante la ayuda de la siguiente tabla, cuyo detalle lo describiremos a continuación.

A Identificación de la probeta.

B Porcentaje de cemento asfáltico en grupos de 3 muestras de briquetas, empezando con un porcentaje de 5% hasta el 7% con un incremento de 0.5%.

C Espesor de cada briqueta medido al centímetro.

D Peso en el aire de la briqueta en gramos

E Peso en el aire de la briqueta saturada y superficialmente seca en gramos.

F Peso de la briqueta sumergido y saturado en agua.

G Determinación del peso específico “bulk” de las probetas compactadas, que es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Si la briqueta es impermeable y densa, su peso específico se determinara mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{D}{E - F}$$

Si la textura superficial fuese abierta y permeable, el volumen se determina por la diferencia entre su peso en el aire y su peso en el agua estando parafinada.

H Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una más de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire.

$$\frac{100}{\frac{\%Agreg.}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$$

I El peso específico máximo medio 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.

J Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado:

$$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg.}$$

K Calculamos el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta:

$$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$$

L Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta:

$$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$$

M Calculamos el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta:

$$100 - K - L$$

N Determinamos el porcentaje de vacíos que contienen los agregados minerales en la mezcla compactada.

$$100 - K$$

O Determinamos el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla:

$$\%CA \frac{J * Agreg}{100}$$

P Calculamos el porcentaje de vacíos llenos de asfalto:

$$\frac{N - L}{N} * 100$$

Q En este casillero ponemos la lectura que marca el dial de la Estabilidad Marshall al realizar el ensayo de la briqueta de acuerdo al procedimiento indicado. El valor de la estabilidad se registra en libras.

R Registramos el factor de corrección que depende del espesor de las briquetas de acuerdo a la Tabla 24.

Tabla 4-14 Factor de corrección de la Estabilidad de Marshall

VOLUMEN DE LAMUESTRA EN cm3	ESPEJOR APROX. MUESTRA EN mm	FACTOR DE CORRECCION
200-213	25.4	5.56
214-225	26.9	5
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.5
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.5	1.92
368-379	46	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1
523-535	65.1	0.93
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.5	0.83
586-598	73	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

Fuente: Guamanquispe Fernanda

S Con los factores de corrección, rectificamos los valor valores de la estabilidad de cada probeta $Q \cdot R$

Q= Factor de corrección por espesor de la briqueta.

R= Valor correspondiente a la estabilidad en libras.

T Representa el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briqueta desde el inicio de la carga, hasta que se consigue la máxima viene representada en centésimas de pulgada.

Tabla 4-15 Metodo Marshall Dosificacion Convencional

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFALTICO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1.1	5	6.04	939.7	944.6	512.2	2.173										1624	1.098	1783.152	12
1.2		6.63	1042.8	1050.6	502.3	1.902										1378	0.93	1281.54	10
1.3		7.1	1090.7	1102.9	532.1	1.911										1204	0.84	1011.36	11
PROMEDIO						1.995	2.358	2.388	0.561	74.533	16.443	9.024	25.467	4.46705	35.434			1358.68	11
2.1	5.5	6.96	1076.4	1086	542.5	1.98										1457	0.86	1253.02	12
2.2		6.44	1039.2	1048.4	524.6	1.984										1875	0.966	1811.25	11
2.3		6.43	1025.5	1032.3	516.7	1.989										1921	0.966	1855.686	12
PROMEDIO						1.984	2.341	2.372	0.591	73.732	16.343	9.925	26.268	4.941505	37.784			1639.99	12
3.1	6	6.94	1029	1051	533.2	1.987										1856	0.86	1596.16	13
3.2		6.7	986.8	1011.4	518.3	2.001										1864	0.92	1714.88	11
3.3		6.47	940.3	962.4	502.1	2.043										1962	0.99	1942.38	13
PROMEDIO						2.010	2.325	2.367	0.812	74.303	15.068	10.629	25.697	5.23672	41.363			1751.14	12
4.1	6.5	6.55	1044.9	1056.2	534	2.001										2069	0.93	1924.17	12
4.2		6.3	1022	1028.5	520.7	2.013										1752	1	1752	14
4.3		5.9	962.7	973.2	497	2.022										1854	1	1854	13
PROMEDIO						2.012	2.308	2.342	0.673	73.969	14.091	11.94	26.031	5.870745	45.868			1843.39	13
5.1	7	6.4	1080.1	1087	458.9	1.72										1911	0.949	1813.539	14
5.2		6.2	1037.7	1046.6	505.2	1.917										2155	1.04	2241.2	13
5.3		6.44	1099.7	1105.7	562	2.023										1853	0.949	1758.497	15
PROMEDIO						1.887	2.292	2.331	0.785	68.99	19.062	11.948	31.01	6.26995	38.53			1937.75	14

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Convencionales

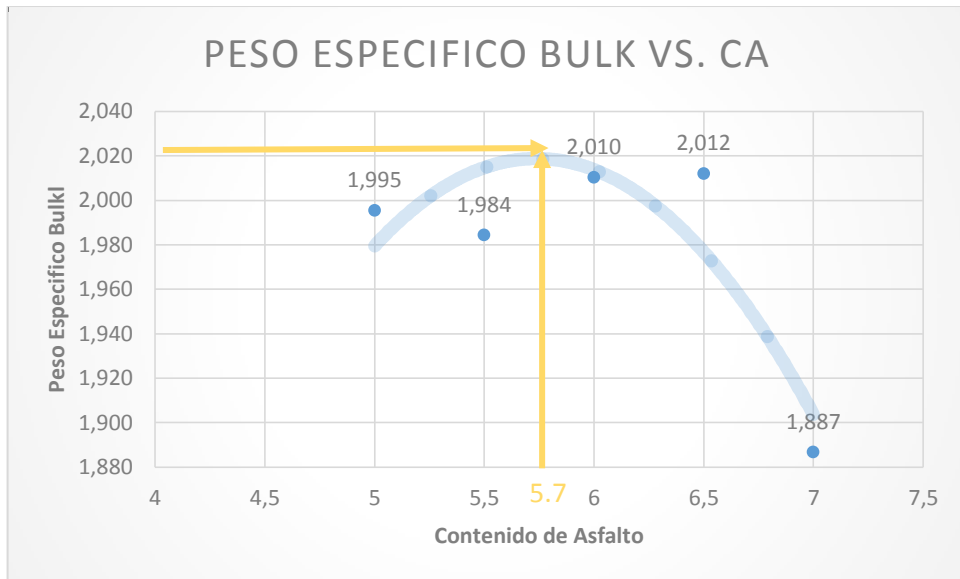


Gráfico 4-1 Peso Específico Bulk VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Fernanda Guamanquispe

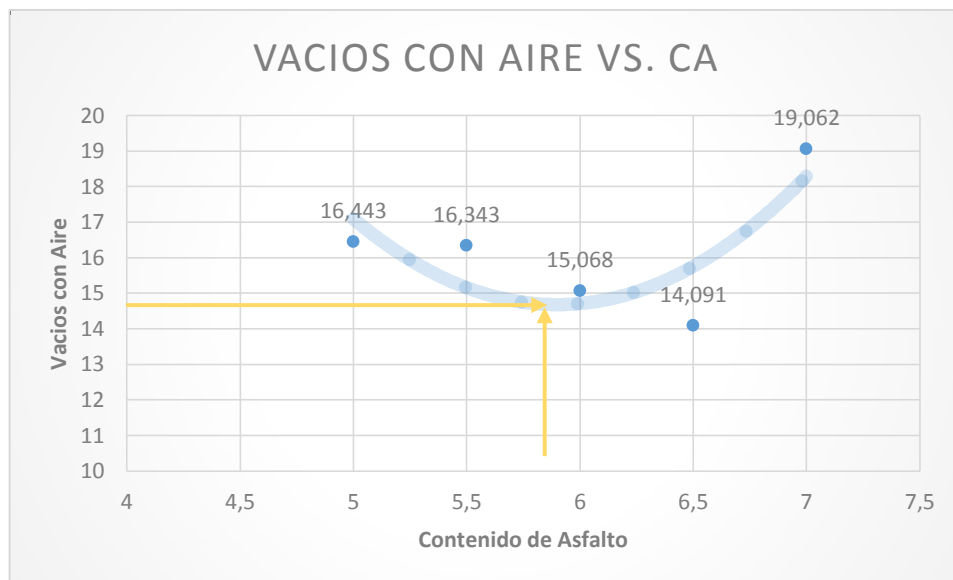


Gráfico 4-2 Vacíos con Aire VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Guamanquispe Fernanda

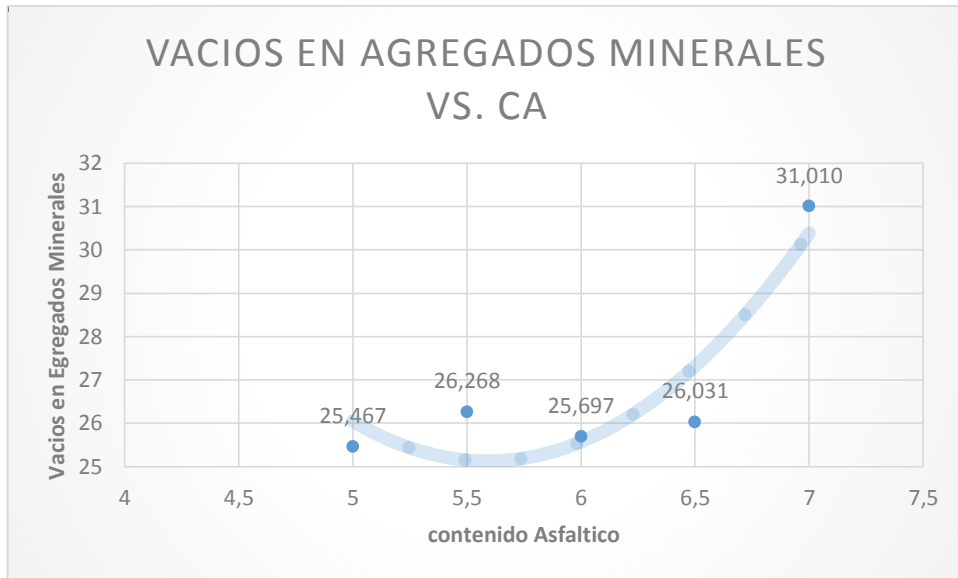


Gráfico 4-3 Vacíos con Agregados Minerales VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Guamanquispe Fernanda

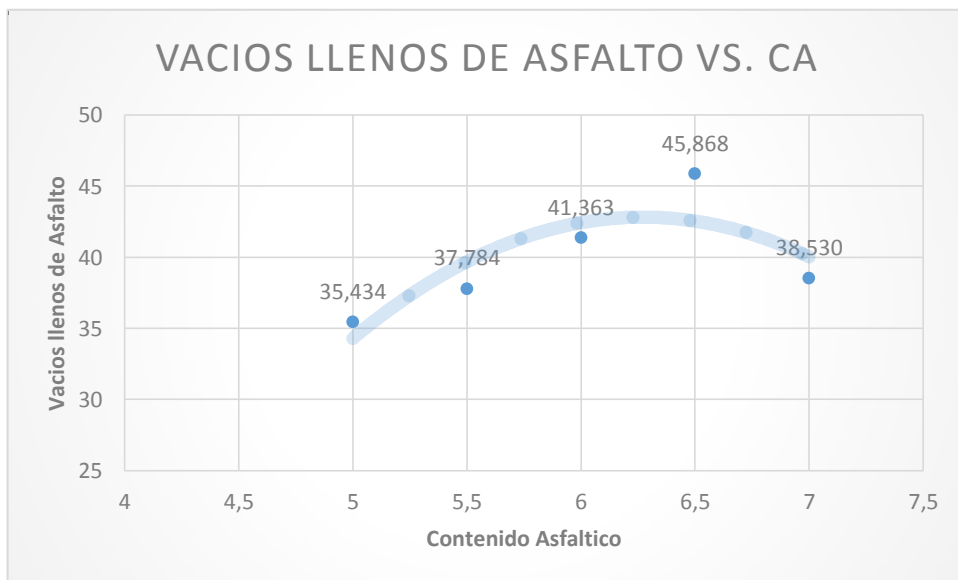


Gráfico 4-4 Vacíos Llenos de Asfalto VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Guamanquispe Fernanda

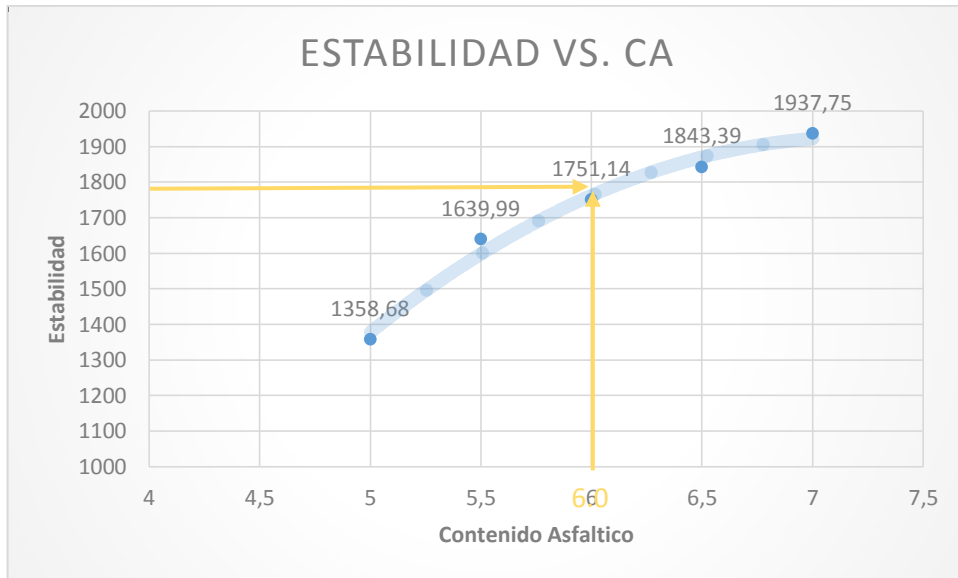


Gráfico 4-5 Estabilidad VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Guamanquispe Fernanda

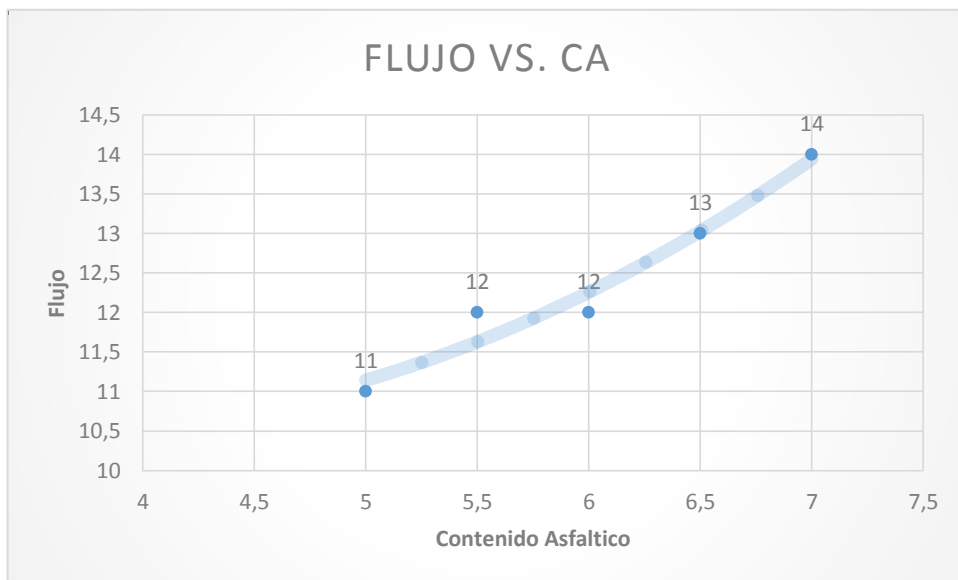


Gráfico 4-6 Flujo VS. Contenido de Asfalto

Fuente: Guamanquispe Fernanda

El contenido Óptimo de Asfalto se lo tomara Promediando el valor promedio de 3 de los resultados anteriores cualquiera en este caso se tomara los valores del Peso Específico Bulk, Índice de Vacíos, y Estabilidad.

Tabla 4-16 Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	5.7%
Índice de Vacíos	5.9%
Estabilidad	6.0%
Contenido Óptimo de Asfalto	5.9%

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Asfalto Modificado con 1% de Caucho de llanta reciclado.

Tabla 4-17 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.11
Peso Frasco	m2	gr	2906.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4116.80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1210.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8109.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.388

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-18 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.80
Peso Frasco	m2	gr	2905.80
Peso muestra + frasco	m3	gr	4099.10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1193.30
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8099.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.384

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-19 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2907.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4089.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1182.80
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8090.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.373

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-20 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.90
Peso Frasco	m2	gr	2908.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4096.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1188.10
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8088.90
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.348

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-21 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	7%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.80
Peso Frasco	m2	gr	2907.88
Peso muestra + frasco	m3	gr	4081.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1174.02
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8078.30
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.336

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-22 Método Marshall Asfalto Modificado con 1% de Caucho de llanata Reciclado

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFALTICO %	ESPOSOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1.1	5	6.4	998.7	1011.1	502.3	1.963										2054	0.97	1992.38	15
1.2		6.7	1041.2	1049.7	532.1	2.012										2089	0.92	1921.88	13
1.3		6.9	1061.8	1062.3	538.2	2.026										2112	0.88	1858.56	14
PROMEDIO						2.000	2.358	2.388	0.561	74.719	16.234	9.047	25.281	4.46705	35.786			1924.27	14
2.1	5.5	6.85	1048.9	1063	541.2	2.01										2059	0.89	1832.51	13
2.2		6.66	1076.5	1082.5	549	2.018										2213	0.93	2058.09	11
2.3		6.6	1033.1	1039.1	519.2	1.987										2125	0.93	1976.25	13
PROMEDIO						2.005	2.341	2.384	0.815	74.5	15.898	9.602	25.5	4.729825	37.655			1955.62	12
3.1	6	6.7	1063.5	1071	531.8	1.972										2158	0.92	1985.36	14
3.2		6.44	1011.2	1012.5	505.6	1.995										2214	0.97	2147.58	13
3.3		7.1	999.8	1008.2	495.2	1.949										2113	0.83	1753.79	12
PROMEDIO						1.972	2.325	2.373	0.926	72.886	16.898	10.216	27.114	5.12956	37.678			1962.24	13
4.1	6.5	6.63	1011.9	1025.6	511.2	1.967										2169	1	2169	14
4.2		6.8	1032.2	1042.3	531.2	2.020										2087	0.88	1836.56	15
4.3		6.1	1009.8	1012.3	502.2	1.98										2109	1.05	2214.45	12
PROMEDIO						1.989	2.308	2.348	0.789	73.123	15.29	11.587	26.877	5.762285	43.111			2073.34	14
5.1	7	6.43	1046.5	1058.2	567.2	2.131										2112	0.97	2048.64	14
5.2		6.8	1089	1101.2	538.2	1.934										2178	0.88	1916.64	14
5.3		6.52	1063.2	1075.2	539.3	1.984										2201	0.93	2046.93	15
PROMEDIO						2.016	2.292	2.336	0.884	73.732	13.684	12.584	26.268	6.17788	47.906			2004.07	14

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Modificadas con 1% de caucho de llanta reciclado

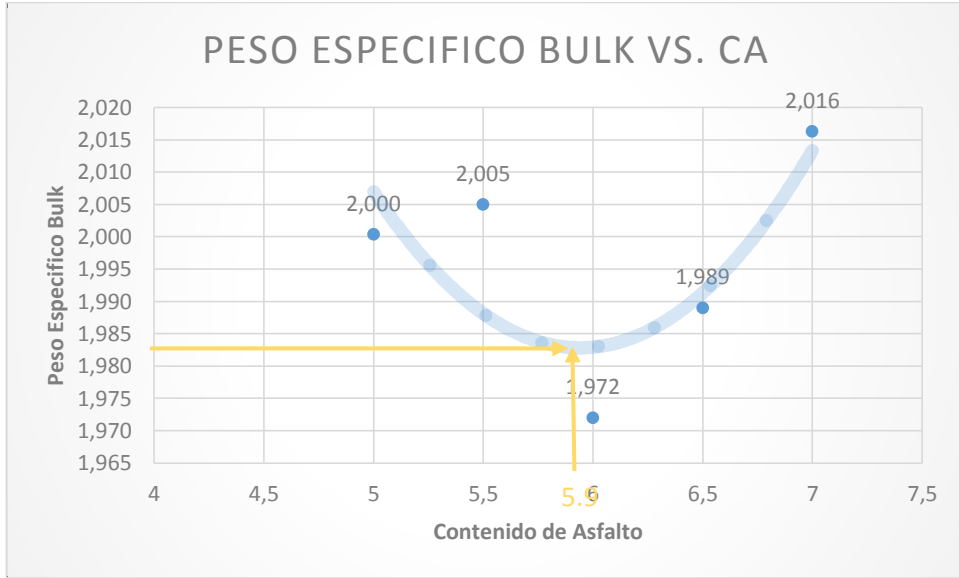


Gráfico 4-7 Peso Específico Bulk VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

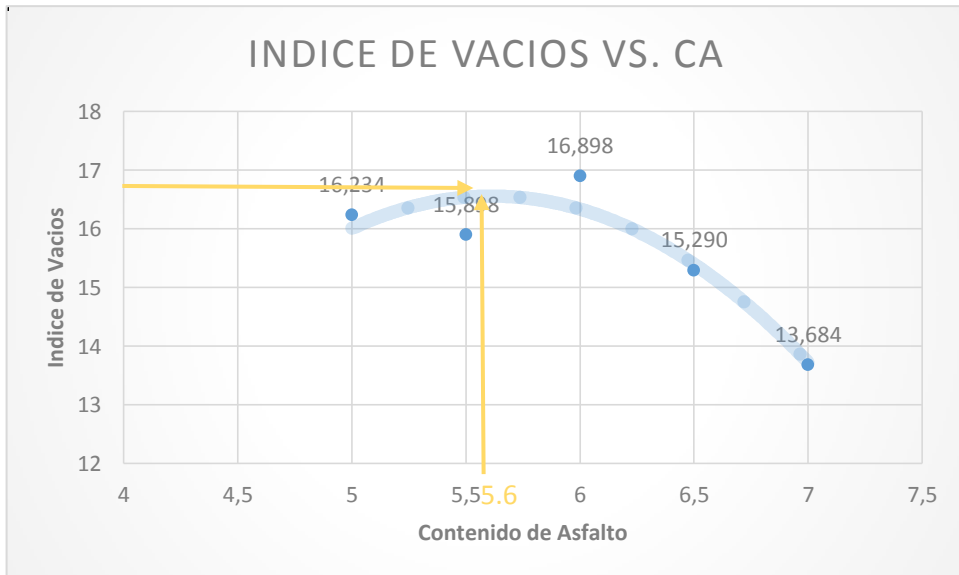


Gráfico 4-8 Índice de Vacíos VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

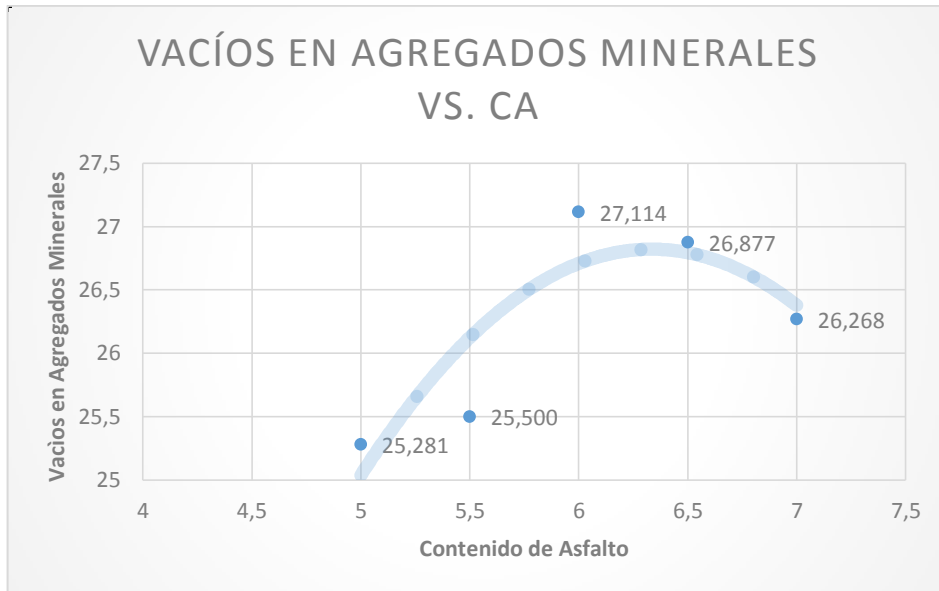


Gráfico 4-9 Vacíos en Agregados VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

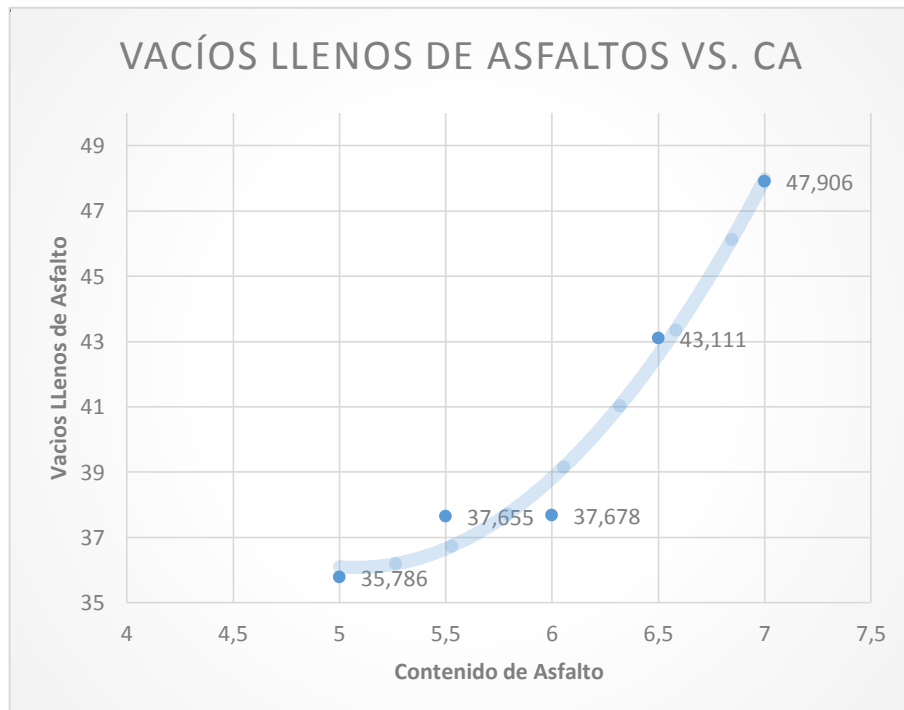


Gráfico 4-10 Vacíos Llenos de Asfalto VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

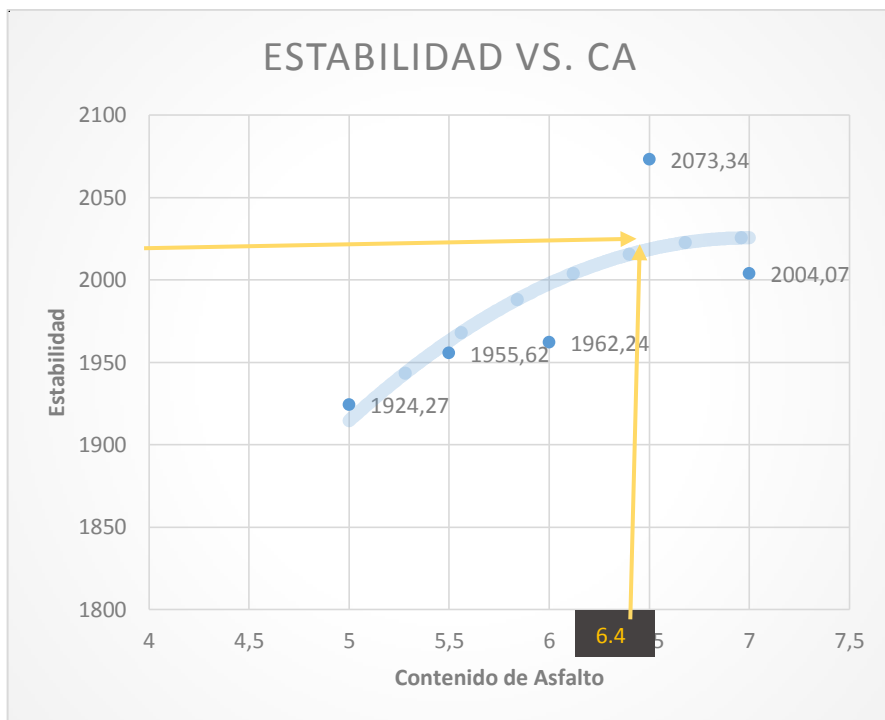


Gráfico 4-11 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

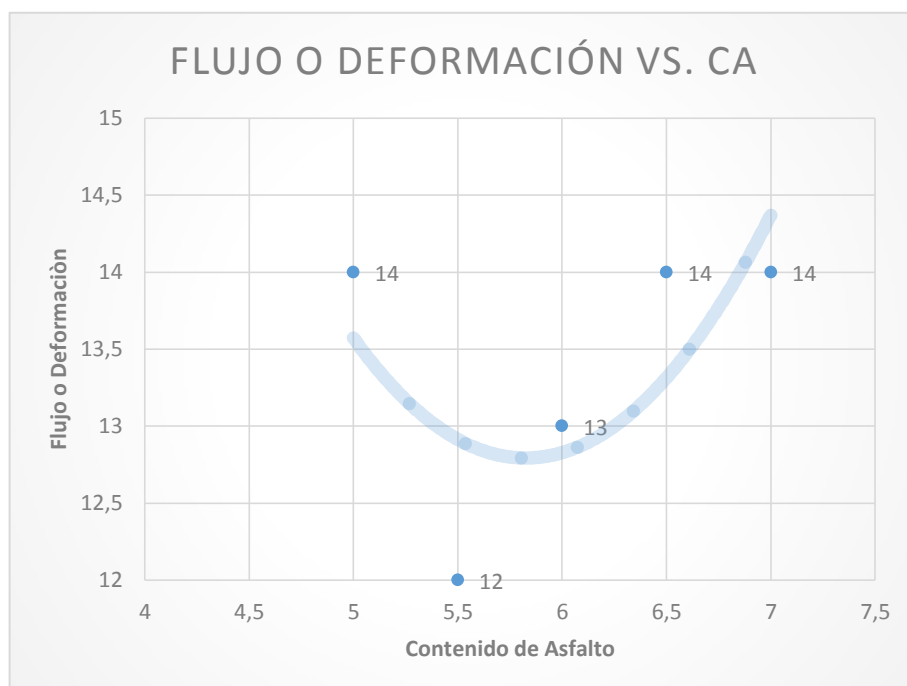


Gráfico 4-12 Flujo VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

El contenido Óptimo de Asfalto para la Mezcla Modificada con 1% de Caucho reciclado:

Tabla 4-23 Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	5.9%
Índice de Vacíos	5.6%
Estabilidad	6.4%
Contenido Óptimo de Asfalto	6.0%

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Asfalto Modificado con 1.5% de Caucho Reciclado con caucho Reciclado

Tabla 4-24 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.11
Peso Frasco	m2	gr	2906.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4116.80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1210.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8109.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.388

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-25 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.80
Peso Frasco	m2	gr	2905.80
Peso muestra + frasco	m3	gr	4099.10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1193.30
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8099.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.384

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-26 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2907.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4089.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1182.80
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8090.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.373

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-27 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.90
Peso Frasco	m2	gr	2908.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4096.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1188.10
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8088.90
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.348

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-28 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	7%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.80
Peso Frasco	m2	gr	2907.88
Peso muestra + frasco	m3	gr	4081.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1174.02
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8078.30
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.336

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-29 Método Marshall Asfalto Modificado con 1.5% de Asfalto

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFALTICO %	ESPOSOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1.1	5	6.2	1065.3	1095.3	553.2	1.965										2539	1.045	2653.255	14
1.2		5.9	1042.3	1056.3	523.8	1.957										2369	1.11	2629.59	12
1.3		6.5	1070.1	1098.2	549.2	1.949										2451	0.93	2279.43	15
PROMEDIO						1.957	2.358	2.388	0.561	73.101	18.049	8.85	26.899	4.46705	32.901			2520.76	13.66667
2.1	5.5	6.9	1082.1	1123	592	2.038										2258	0.88	1987.04	14
2.2		6.3	1071.2	1096.2	543.6	1.938										2413	0.99	2388.87	12
2.3		6.45	1075.3	1099.45	539.6	1.921										2398	0.943	2261.314	14
PROMEDIO						1.966	2.341	2.384	0.815	73.038	17.548	9.414	26.962	4.729825	34.916			2212.41	13
3.1	6	6.2	1068.2	1090.5	539.2	1.938										2196	0.92	2020.32	14
3.2		6.3	1070.1	1096.2	545	1.941										2354	0.97	2283.38	15
3.3		6.45	1075.8	1102.3	573.2	2.033										2401	0.943	2264.143	15
PROMEDIO						1.971	2.325	2.373	0.926	72.836	16.955	10.209	27.164	5.12956	37.583			2189.28	15
4.1	6.5	6.3	1072.3	1114.3	576.8	1.995										2415	0.99	2390.85	15
4.2		6.5	1080.2	1120.3	580.3	2.000										2369	0.93	2203.17	16
4.3		6.32	1075	1099.8	532.9	1.896										2187	0.99	2165.13	14
PROMEDIO						1.964	2.308	2.348	0.789	72.192	16.369	11.439	27.808	5.762285	41.136			2253.05	15
5.1	7	6.42	1081.2	1103.2	576.8	2.054										2109	0.97	2045.73	15
5.2		6.31	1079	1099.8	546.3	1.949										2354	0.99	2330.46	17
5.3		6.1	1060.2	1087.5	520.6	1.87										2135	1.05	2241.75	14
PROMEDIO						1.958	2.292	2.336	0.884	71.586	16.196	12.218	28.414	6.17788	43			2205.98	15

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Modificadas con 1.5% de caucho de llanta reciclado

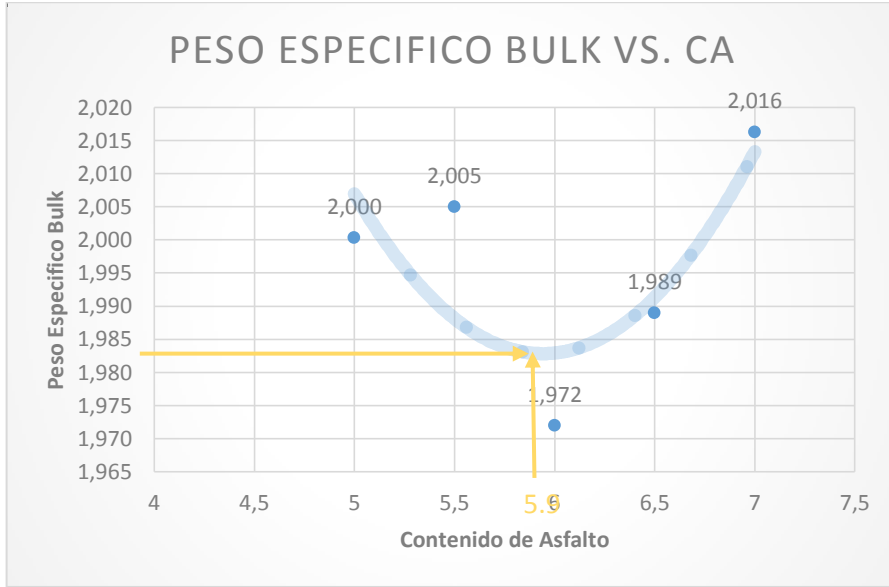


Gráfico 4-13 Peso Específico Bulk VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

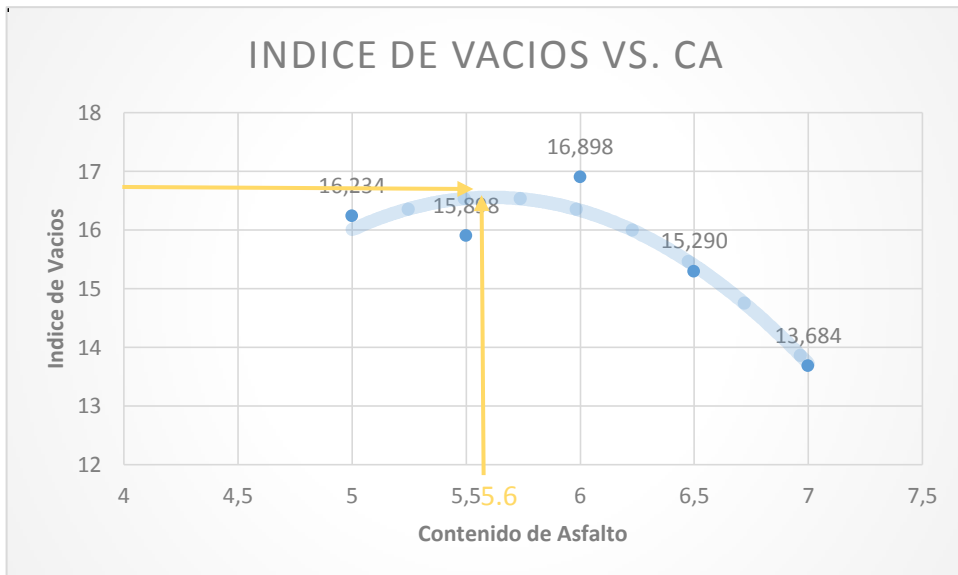


Gráfico 4-14 Índice de Vacíos VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

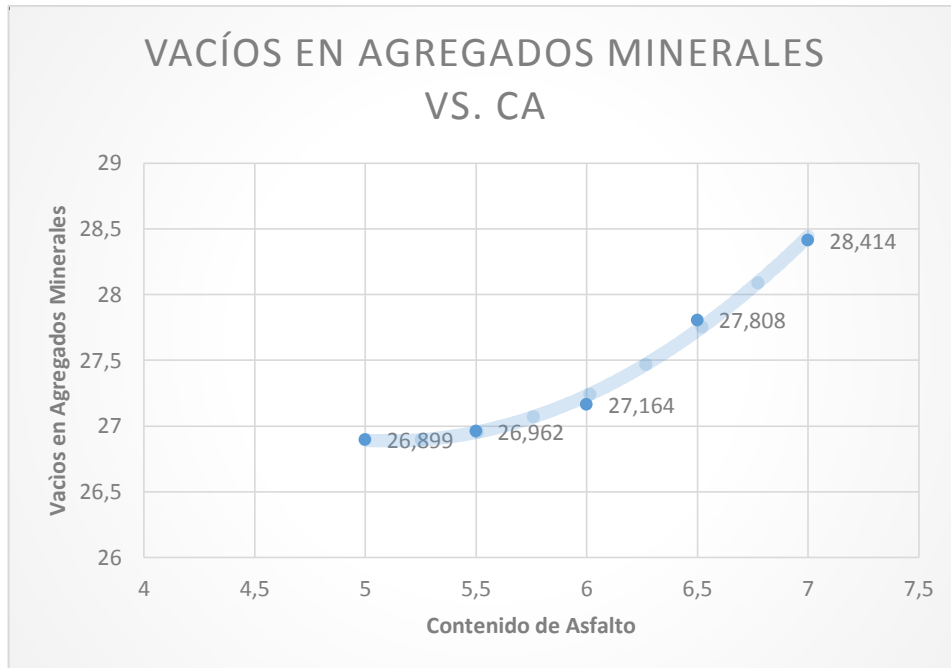


Gráfico 4-15 Vacíos en Agregados Minerales VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

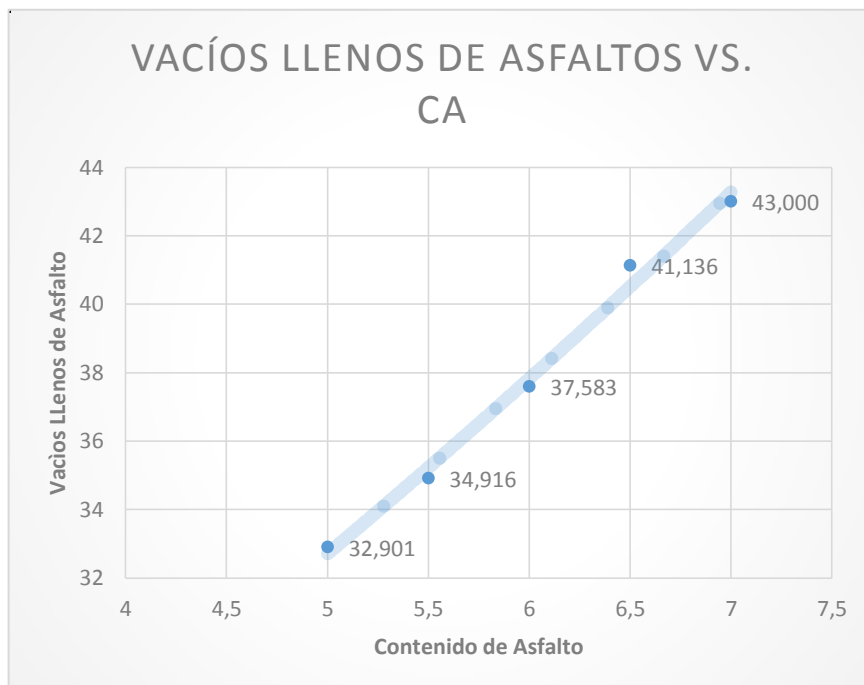


Gráfico 4-16 Vacíos Llenos de Asfaltos VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

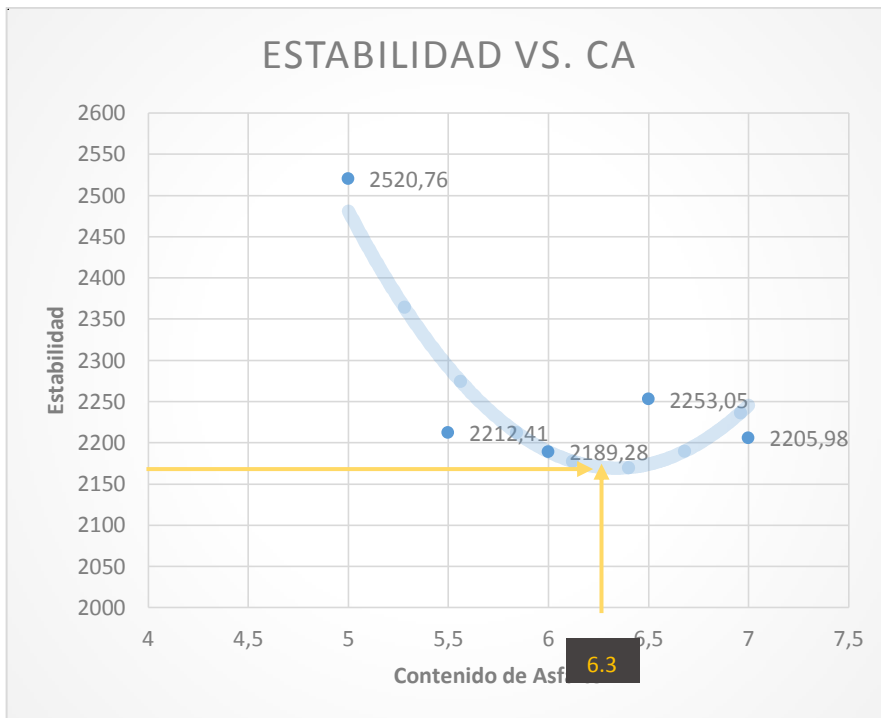


Gráfico 4-17 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

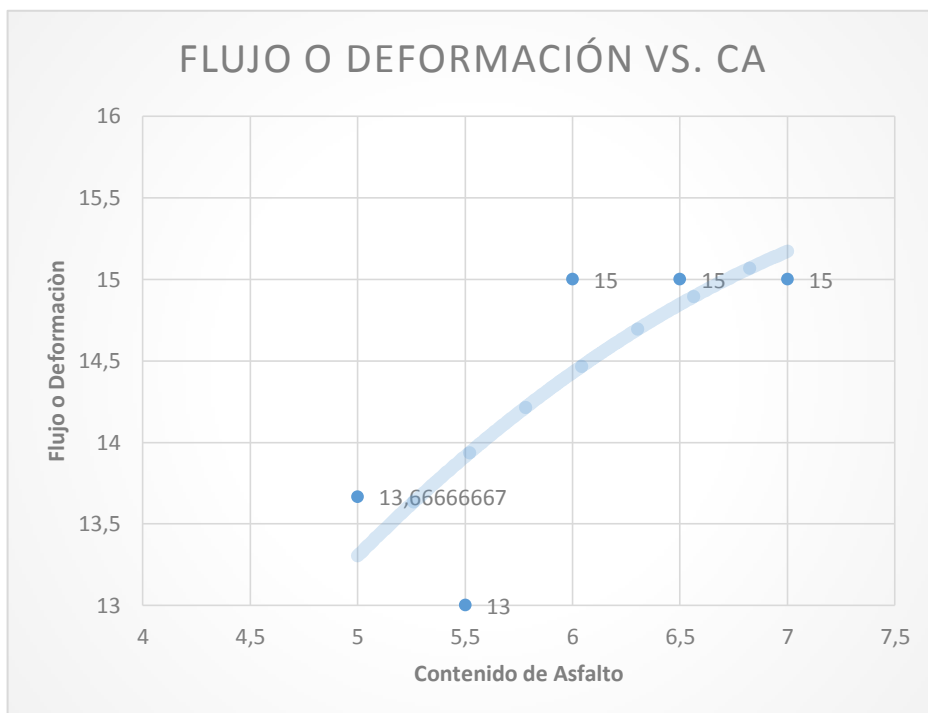


Gráfico 4-18 Flujo VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

El contenido Óptimo de Asfalto para el Asfalto modificado con 1.5% de caucho de llanta reciclado:

Tabla 4-30 Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	6.0%
Índice de Vacíos	6.0%
Estabilidad	6.3%
Contenido Óptimo de Asfalto	6.1%

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Asfalto Modificado con 2% de Caucho de llanta Reciclado

Tabla 4-31 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.13
Peso Frasco	m2	gr	2907.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4116.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1209.80
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8110.20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.392

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-32 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	5.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.60
Peso Frasco	m2	gr	2904.95
Peso muestra + frasco	m3	gr	4105.50
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1200.55
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8099.90
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.367

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-33 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.60
Peso Frasco	m2	gr	2906.80
Peso muestra + frasco	m3	gr	4101.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1194.40
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8092.70
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.350

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-34 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	6.5%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.80
Peso Frasco	m2	gr	2899.70
Peso muestra + frasco	m3	gr	4096.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1196.50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8091.20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.336

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-35 Gravedad específica teórica máxima (Asfalto Modificado)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO.			
ORIGEN:	Cantera las Viñas - Ambato		
ENSAYADO POR:	Guamanquispe Vaca Fernanda Patricia		
FECHA:	24/ago/2016		
NORMA:	ASTM D-2041		
PORCENTAJE ASF:	7%		
"Gravedad específica teórica máxima (RICE)"			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.10
Peso Frasco	m2	gr	2908.10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4082.80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1174.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8075.20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.323

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Tabla 4-36 Metodo Marshall Asfalto Modificado con 2% de Caucho de llanta Reciclado

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFALTICO %	ESPOSOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1.1	5	6.4	1084.9	1108.2	549.4	1.941										1906	1.045	1991.77	14
1.2		6.52	899.7	918.3	448.4	1.915										1802	1.11	2000.22	15
1.3		7.4	1115.9	1140.3	572	1.964										1838	0.93	1709.34	18
PROMEDIO		475				1.940	2.358	2.392	0.635	72.466	18.896	8.638	27.534	4.39675	31.372			1900.44	15.66667
2.1	5.5	6.6	949.9	964.5	475	1.941										2183	0.88	1921.04	15
2.2		6.7	991.2	1012.8	495.7	1.917										1823	0.99	1804.77	16
2.3		7.98	1191	1212.5	590	1.913										2007	0.943	1892.601	14
PROMEDIO						1.924	2.341	2.367	0.497	71.478	18.73	9.792	28.522	5.030335	34.331			1872.8	15
3.1	6	7.4	1136.1	1155.2	563.8	1.921										2215	0.92	2037.8	18
3.2		6.9	1004.3	1020.3	486.9	1.883										2312	0.97	2242.64	15
3.3		6.6	901.7	921.9	447	1.899										2098	0.943	1978.414	17
PROMEDIO						1.901	2.325	2.35	0.487	70.262	19.106	10.632	29.738	5.54222	35.752			2086.28	17
4.1	6.5	7.9	1140.7	1164.6	483	1.674										2489	0.99	2464.11	15
4.2		7.82	1096	1116.4	540.7	1.904										2361	0.93	2195.73	14
4.3		6.7	979.3	999.9	570.3	2.28										2541	0.99	2515.59	16
PROMEDIO						1.953	2.308	2.336	0.555	71.787	16.41	11.803	28.213	5.981075	41.835			2391.81	15
5.1	7	7.85	1137.8	1168.9	597	1.99										2256	0.97	2188.32	16
5.2		7.85	1093.3	1131.7	576.4	1.969										2458	0.99	2433.42	16
5.3		7.3	1038.6	1068.6	539.4	1.963										2458	1.05	2580.9	18
PROMEDIO						1.974	2.292	2.323	0.626	72.183	15.024	12.793	27.817	6.41782	45.99			2400.88	17

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Modificadas con 2% de caucho de llanta reciclado

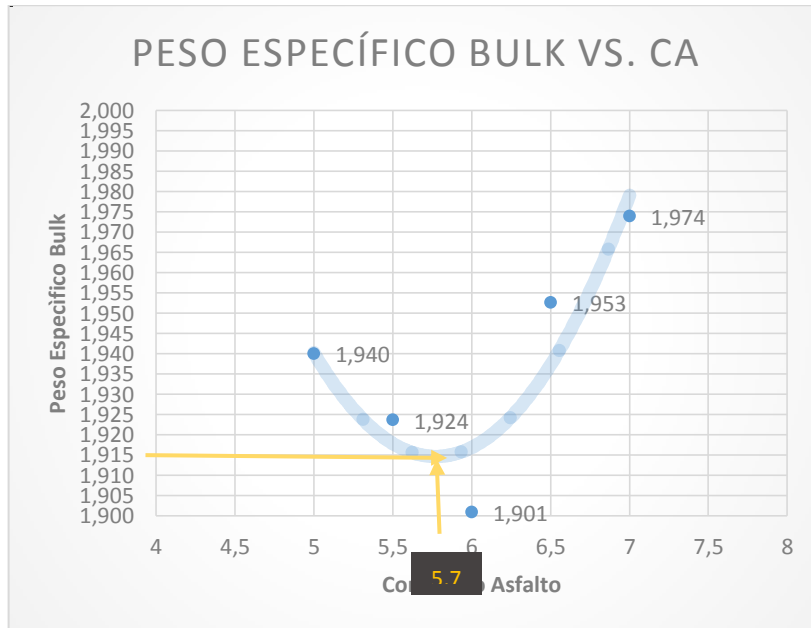


Gráfico 4-19 Peso Específico VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

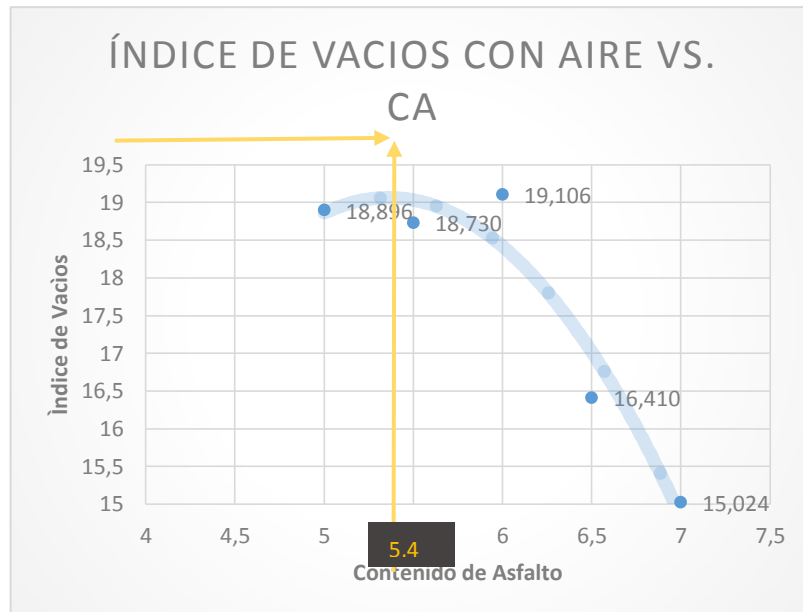


Gráfico 4-20 Índice de Vacíos con Aire VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

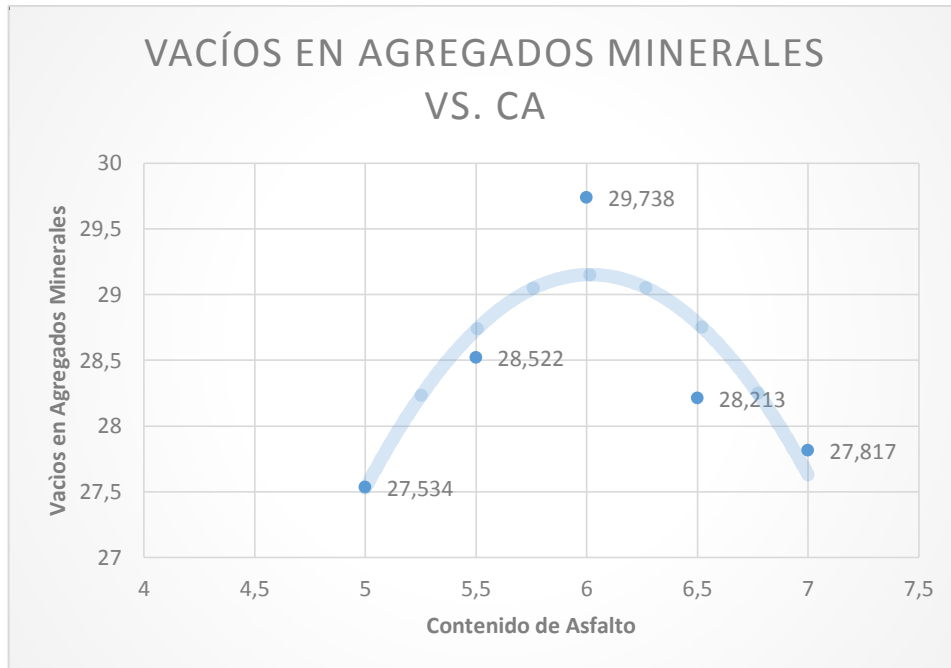


Gráfico 4-21 Vacíos en Agregados Minerales VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

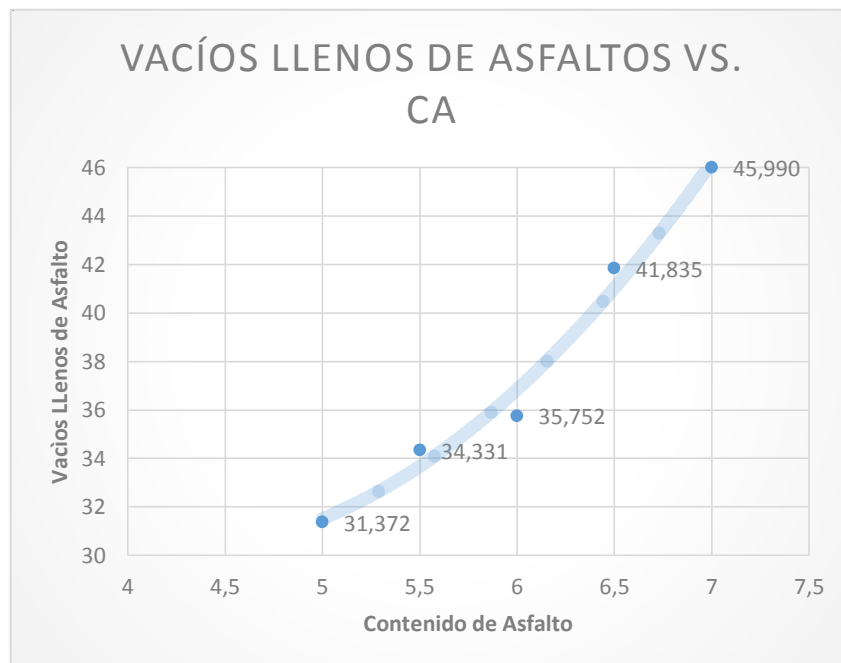


Gráfico 4-22 Vacíos Llenos de Asfaltos VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

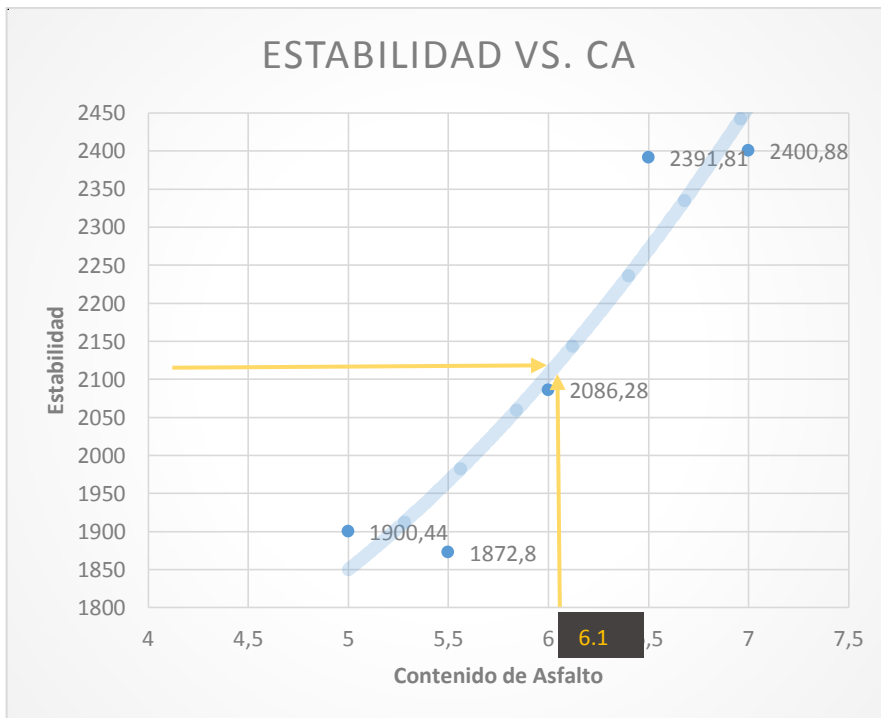


Gráfico 4-23 Estabilidad VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

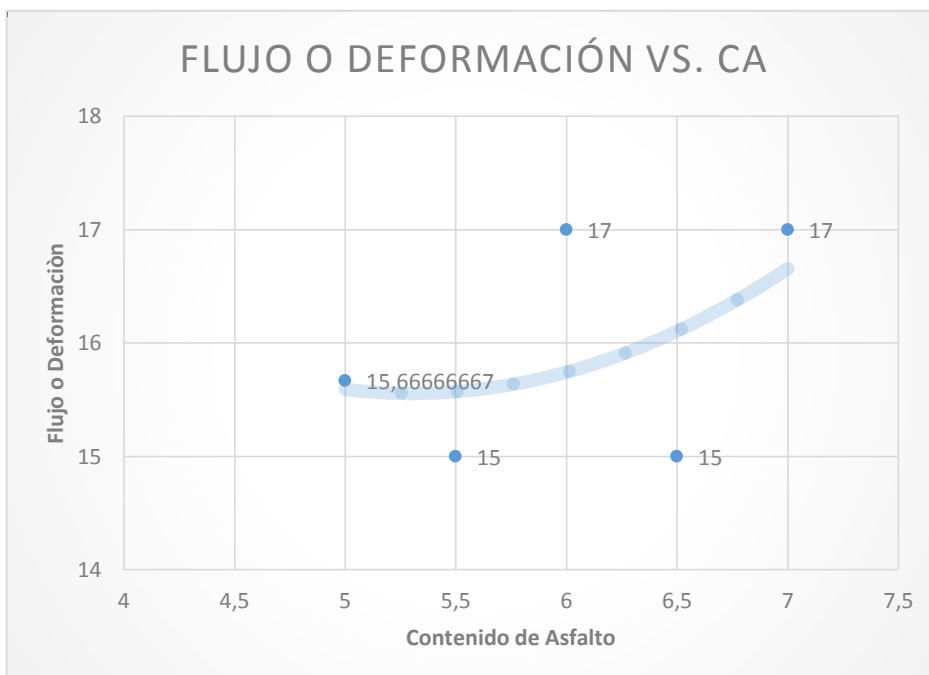


Gráfico 4-24 Flujo VS. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

El contenido Óptimo de Asfalto para el asfalto modificado con 2 % de caucho de llanta reciclado:

Tabla 4-37 Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	5.7%
Índice de Vacíos	5.4%
Estabilidad	6.1%
Contenido Óptimo de Asfalto	5.7%

Fuente: Guamanquispe Fernanda

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Representación gráfica y comparación de la Gravedad Específica Teórica Máxima, Estabilidad Corregida Promedio y Flujo Promedio de las mezclas asfálticas convencionales en relación con las muestras de Asfalto Modificado, con tamaños de 2,3y4 de las fibras de Caucho reciclado.

Gravedad Específica Teórica Máxima

Tabla 4-38 Comparación de resultados de las Densidades Promedio Bulk Vs. Contenido Asfáltico.

CONTENIDO ASFALTICO	DENSIDAD MÁXIMA PROMEDIO BULK DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA			
	0	2	3	4
5%	1.995	2	1.957	1.94
5.50%	1.984	2.005	1.966	1.924
6%	2.01	1.972	1.971	1.901
6.50%	2.012	1.989	1.964	1.953
7%	1.887	2.016	1.958	1.974

Fuente: Guamanquispe Fernanda

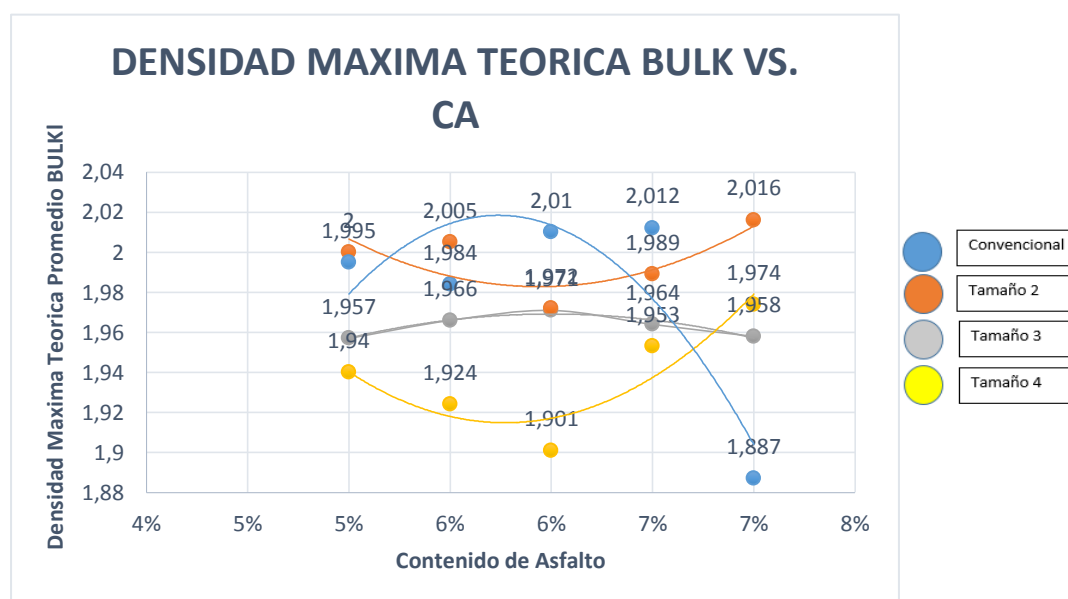


Gráfico 4-25 Comparación de resultados de las Densidades Promedio Bulk Vs. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Estabilidad Corregida Promedio

Tabla 4-39 Comparación de resultados de las Estabilidades Promedio Vs. Contenido Asfáltico

CONTENIDO ASFALTICO	ESTABILIDAD PROMEDIO DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA			
	0	1%	1.50%	2%
5%	1358.68	1924.27	2520.76	1900.44
5.50%	1639.99	1955.62	2212.41	1872.8
6%	1751.14	1962.24	2189.28	2086.28
6.50%	1843.39	2073.34	2253.05	2391.81
7%	1937.75	2004.07	2205.98	2400.88

Fuente: Guamanquispe Fernanda

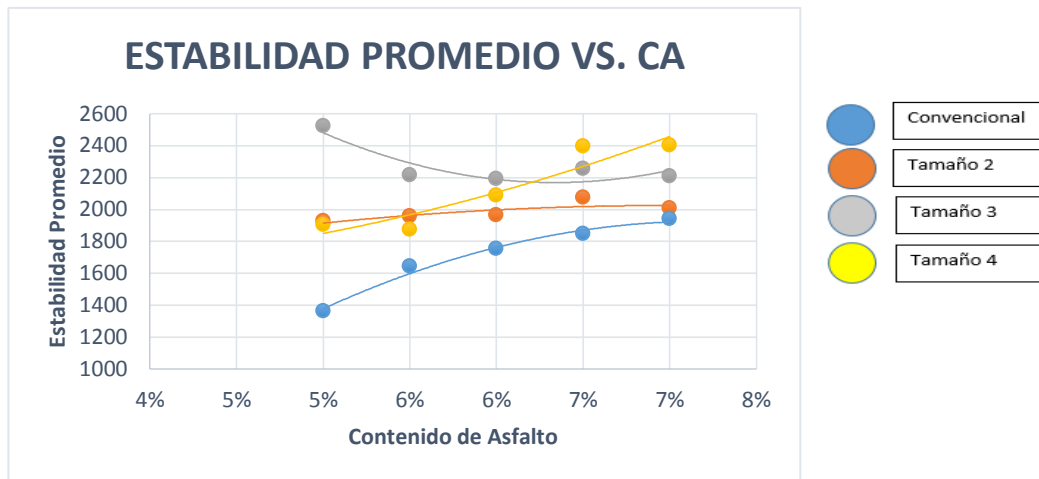


Gráfico 4-26 Comparación de resultados de las Estabilidades Promedio Vs. Contenido Asfáltico.

Fuente: Guamanquispe Fernanda

Flujo Promedio

Tabla 4-40 Comparación de resultados de los Flujos Promedio Vs. Contenido Asfáltico

CONTENIDO ASFALTICO	FLUJO PROMEDIO DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA			
	0	1%	1.50%	2%
5%	11	14	13.66	15.66
5.50%	12	12	13	15
6%	12	13	15	17
6.50%	13	14	15	15
7%	14	14	15	17

Fuente: Guamanquispe Fernanda

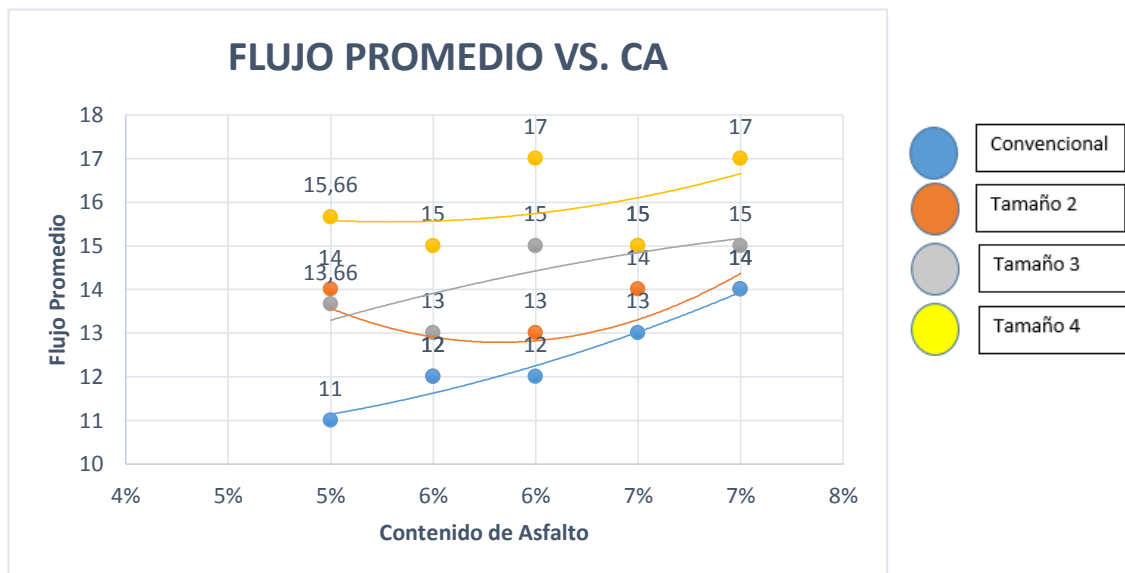


Gráfico 4-27 Comparación de resultados de los Flujos Promedio Vs. Contenido Asfáltico

Fuente: Guamanquispe Fernanda

4.3 Análisis de Costos

Para el análisis de costos se realizó por m³ para obtener un valor aproximado en obra.

Costo en m³ para Mezcla asfáltica convencional

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Asfalto liquido	m ³	1.25	69.29	77.86
Agregado grueso	m ³	1	20.82	20.82
Agregado fino	m ³	1	31.59	31.59
Total				130.27

Costo en m³ para Mezcla asfáltica Modificada

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Asfalto liquido	m ³	1.11	69.29	76.9119
Agregado grueso	m ³	1	20.82	20.82
Agregado fino	m ³	1	31.59	31.59
Caucho Reciclado	m ³	0.2	35.2	7.04
Total				136.362

4.3 Verificación de la Hipótesis

Al haber realizado los ensayos de las diferentes mezclas asfálticas elaboradas a base de mezcla asfáltica convencional con adición parcial porcentual de fibras de caucho de llanta reciclada, se obtuvo como resultado que el peso específico, la estabilidad y flujo en comparación con las mezclas asfálticas convencionales es referencial. La mezcla asfáltica modifica a base de 1.0% de fibra de caucho con un 4% de asfalto alcanzo una Estabilidad promedio de 1924.27lb. Con respecto a la mezcla asfáltica convencional con un 5% de asfalto que alcanzo 1358.68lb. Las mismas muestras registraron una densidad máxima teórica promedio Bulk de 1.94 y 1.995 respectivamente, y un flujo promedio de 14% y 11% respectivamente.

Y la comparación de la mezcla asfáltica modificada a base de 2.0% de fibra de caucho con un 5% de asfalto alcanzo una estabilidad Promedio de 2400.88lb. Con respecto a la mezcla asfáltica convencional con un 7% de asfalto que alcanzo 1937.75lb. Las mismas muestras registraron una densidad máxima teórica promedio Bulk de 1.974 y 1.887 respectivamente, y un flujo promedio de 17% y 14% respectivamente. Los resultados variaron dependiendo la cantidad de caucho de llanta reciclado en la mezcla mejorando hasta en un 30% su resistencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El porcentaje de vacíos que se presenta en los ensayos aumenta según va aumentando el porcentaje del contenido asfáltico y el porcentaje de la fibra de caucho.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) se mantiene en un rango promedio en todos los casos de mezclas asfálticas.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta según va aumentando el porcentaje del contenido asfáltico y el porcentaje de la fibra de caucho.
- Los valores de Estabilidad aumentan a medida que aumenta el porcentaje de contenido asfáltico y el porcentaje de fibras de caucho.
- Los valores de Fluencia aumentan mientras aumenta el contenido asfáltico, y se muestra que para cada mezcla asfáltica mientras más fibra de caucho tiene más aumenta el valor de la fluencia, hasta llegar a un rango razonable de fluencia.

5.2 RECOMENDACIONES

- La mezcla asfáltica deben hacerse a una temperatura del cemento asfáltico no menor a 140C y de no mayor a 160C de los agregados para obtener una mezcla óptima.

- Los utencillos para elaborar las Briquetas deben tener también una temperatura igual a la de la mezcla asfáltica, así obtendremos unas briquetas óptimas.
- Si los agregados no tienen una buena granulometría es necesario tamizar la muestra para obtener la granulometría esperada para el tipo de asfalto que se va a elaborar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. R. Villamizar, I. L. Ladino Rubio y J. P. Rosas Ramirez, *Diseño de Mezcla Asfáltica Caucho Tecnología Gap*, Bogotá D.C., 2014.
- [2] R. A. A. Rodríguez y J. L. Duarte Ayala, *Modificación de un Asfalto con Caucho Reciclado de llanta para su aplicación en Pavimentos*, Bucaramanga, 2005.
- [3] Oromedios, «Se consolidan planes para el reciclado de llantas,» *Oromedios*, 2015.
- [4] G. Mavesa, «Plantas de asfalto ASTEC Ecuador con el respaldo de grupo Mavesa,» *Grupo Mavesa*, 2012.
- [5] L. M. R. Jimenez, *Asfalto con Polímeros Reciclados*, Antioquia, 2011.
- [6] S. A. Fonseca, «Adición de polímeros al pavimento,» Colombia, 2016.
- [7] M. P. M. Elías, *Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero Etileno Vinil Acetato*, Quito, 2013.
- [8] D. Benenaula, «Grupo Innovador del Caucho GIC,» *Grupo innovador del caucho*, 2011.

ANEXOS