



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO”**

AUTORA: Karla Gabriela Capa Moya

TUTOR: Ing. Mg. Fricson Moreira

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Fricson Moreira, certifico que el presente Informe Final del Trabajo Experimental realizado por la señorita Karla Gabriela Capa Moya, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi dirección, el cual es un Trabajo Experimental previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, personal e inédito y ha sido concluido bajo el tema **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ing. Mg. Fricson Moreira

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Yo, Karla Gabriela Capa Moya, con CI. 160064892-5 egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO”** es de mi completa autoría.

Karla Gabriela Capa Moya

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Karla Gabriela Capa Moya

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: *“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO”* de la Egresad Karla Gabriela Capa Moya de la Carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Milton Aldás

PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Lorena Pérez

PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios que es guía de mi vida y hace posible este logro.

A mis padres Carlos y Mónica por todo el amor y sacrificio que han hecho para darme lo mejor a lo largo de toda mi vida.

A mi papito Rodrigo y mamita Olfá, la mayor bendición de mi vida.

A mis hermanos Diego y Carlitos, a mi sobrino Liam Sebastián; fuente de inspiración para ser mejor cada día.

A toda mi familia en general por todo el amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

Karla Gabriela Capa Moya

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme permitido llegar a la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres por su apoyo constante y dedicación en hacer de mí una persona de bien.

A mis tíos, tías, primos y primas por los consejos y apoyo en los momentos difíciles, y todos los momentos especiales que hemos compartido llenos de amor. Gracias por todo el cariño.

A mis hermanos por la ayuda que me brindaron para la realización de este proyecto, cuenten siempre conmigo.

A todas las personas que forman parte de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a los docentes por los conocimientos impartidos en las aulas de clase, de manera especial al Ing. Mg. Fricson Moreira por su ayuda en el desarrollo del presente proyecto.

A mis compañeros y amigos por todo el apoyo y los buenos momentos que hemos vivido juntos en estos años de carrera universitaria, gracias por las palabras de aliento para seguir luchando hasta alcanzar esta meta, de manera especial a quienes estuvieron conmigo y me ayudaron en la ejecución del proyecto.

Karla Gabriela Capa Moya

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV

B. TEXTO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.2 HIPÓTESIS.....	22
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	22

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	23
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	24
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	26
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	26
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	28
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	67
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1 CONCLUSIONES.....	73
5.2 RECOMENDACIONES.....	74
C. MATERIALES DE REFERENCIA	
1. BIBLIOGRAFÍA.....	75
2. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Características del cemento asfáltico AC-20.....	12
Tabla N° 2 Operacionalización de la variable independiente.....	24
Tabla N° 3 Operacionalización de la variable dependiente.....	25
Tabla N° 4 Plan de recolección de información.....	26
Tabla N° 5 Requisitos de Graduación.....	29
Tabla N° 6 Análisis Granulométrico de los Agregados	29
Tabla N° 7 Densidad Relativa del Agregado Fino.....	32
Tabla N° 8 Densidad Relativa del Agregado Grueso	33
Tabla N° 9 Especificaciones de la Carga.....	34
Tabla N° 10 Gradación de las muestras de ensayo.....	34
Tabla N° 11 Resistencia al desgaste por Abrasión.....	35
Tabla N° 12 Granulometría mezcla asfáltica convencional.....	36
Tabla N° 13 Granulometría mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero.....	37
Tabla N° 14 Granulometría mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero.....	37
Tabla N° 15 Granulometría mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero.....	38
Tabla N° 16 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 3% de asfalto.....	39
Tabla N° 17 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 3.5% de asfalto.....	39
Tabla N° 18 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 4% de asfalto.....	40
Tabla N° 19 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 4.5% de asfalto.....	40
Tabla N° 20 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 5% de asfalto.....	41
Tabla N° 21 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas convencionales.....	42
Tabla N° 22 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica convencional.....	46
Tabla N° 23 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 1% de fibra de acero.....	46
Tabla N° 24 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 1% de fibra de acero.....	47
Tabla N° 25 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 1% de fibra de acero.....	47
Tabla N° 26 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 1% de fibra de acero.....	48

Tabla N° 27 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 1% de fibra de acero.....	48
Tabla N° 28 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 1% de fibra de acero.....	49
Tabla N° 29 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero.....	53
Tabla N° 30 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 1.5% de fibra de acero.....	53
Tabla N° 31 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero.....	54
Tabla N° 32 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 1.5% de fibra de acero.....	54
Tabla N° 33 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero.....	55
Tabla N° 34 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero.....	55
Tabla N° 35 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 1.5% de fibra de acero.....	56
Tabla N° 36 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero.....	60
Tabla N° 37 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 2% de fibra de acero.....	60
Tabla N° 38 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 2% de fibra de acero.....	61
Tabla N° 39 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 2% de fibra de acero.....	61
Tabla N° 40 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 2% de fibra de acero.....	62
Tabla N° 41 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 2% de fibra de acero.....	62
Tabla N° 42 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 2% de fibra de acero.....	63

Tabla N° 43 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero.....	67
Tabla N° 44 Comparación Densidad Bulk de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	68
Tabla N° 45 Comparación Estabilidad de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	69
Tabla N° 46 Comparación Flujo de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	70
Tabla N° 47 Factor de corrección estabilidad Marshall.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Curva Granulométrica de los Agregados.....	30
Gráfico N° 2 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto.....	43
Gráfico N° 3 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto.....	43
Gráfico N° 4 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto...	44
Gráfico N° 5 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto.....	44
Gráfico N° 6 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto.....	45
Gráfico N° 7 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto.....	45
Gráfico N° 8 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	50
Gráfico N° 9 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	50
Gráfico N° 10 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	51
Gráfico N° 11 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	51
Gráfico N° 12 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	52
Gráfico N° 13 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero).....	52
Gráfico N° 14 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	57
Gráfico N° 15 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	57
Gráfico N° 16 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	58
Gráfico N° 17 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	58
Gráfico N° 18 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	59
Gráfico N° 19 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero).....	59
Gráfico N° 20 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	64

Gráfico N° 21 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	64
Gráfico N° 22 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	65
Gráfico N° 23 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	65
Gráfico N° 24 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	66
Gráfico N° 25 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero).....	66
Gráfico N° 26 Comparación Densidad Bulk de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	68
Gráfico N° 27 Comparación Estabilidad de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	69
Gráfico N° 28 Comparación Flujo de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero.....	70

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO”

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se obtuvieron los materiales de JEAL Construcciones ubicado en la ciudad de Ambato, a los cuales se realizaron ensayos de laboratorio para analizar sus características mecánicas y que cumplan con las normas respectivas para cada uno de ellos.

Determinadas las características de los materiales que constituyen la mezcla asfáltica se procedió a preparar las briquetas mediante el Método Marshall cumpliendo con las normas AASHTO T 245, ASTM D 1559 y AASHTO T 225, se elaboraron y ensayaron a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y tres de asfalto con adición de fibras de acero en porcentajes de 1%, 1.5% y 2% por cada contenido de cemento asfáltico, se da así un total de 60 briquetas asfálticas.

Al concluir los ensayos a las briquetas se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre las mezclas asfálticas abiertas tradicionales y las mezclas asfálticas abiertas con la adición de fibras de acero; como son estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, mediante el empleo de tablas y gráficos.

ABSTRACT

"ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF AN OPEN ASFALIC MIX WITH THE ADDITION OF STEEL FIBERS"

For the development of this research project, the materials of JEAL Construcciones located in the city of Ambato were obtained, to which laboratory tests were performed to analyze their mechanical characteristics and to comply with the respective standards for each of them.

Given the characteristics of the materials constituting the asphalt mixture, the briquettes were prepared by the Marshall Method in compliance with the AASHTO T 245, ASTM D 1559 and AASHTO T 225 standards. Three traditional asphalt briquettes were prepared and tested for each percentage of asphalt cement and three asphalt with addition of steel fibers in percentages of 1%, 1.5% and 2% for each content of asphaltic cement, thus gives a total of 60 asphalt briquettes.

At the conclusion of the briquettes tests, a comparative analysis of the mechanical properties between traditional open asphalt mixtures and open asphalt mixtures was carried out with the addition of steel fibers; such as stability, flow and percentage of voids, through the use of tables and graphs.

CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIEMETAL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO.

1.2 ANTECEDENTES

En los pavimentos asfálticos diseñados a partir de mezclas cerradas, se presentan inconvenientes para los usuarios durante el período de lluvias, debido a una serie de circunstancias producto de la acumulación del agua en la superficie de rodadura, las cuales en muchos países, especialmente en el caso de aquellos con clima tropical, favorecen a la generación de accidentes vehiculares, es por eso que se han desarrollado soluciones para contrarrestar estos problemas; una de ellas ha sido el uso de mezclas asfálticas abiertas o porosas, las cuales han sido diseñadas precisamente para el drenaje del agua que se acumula en la superficie.[1]

Los inicios de las mezclas abiertas o porosas tuvieron lugar en algunos aeropuertos del Reino Unido y luego en Estados Unidos bajo la forma de tratamiento superficial en capa de 2 cm cuyo objetivo principal era luchar contra el deslizamiento de las aeronaves. Luego el uso de estas mezclas comenzó a experimentar una evolución importante al desarrollarse bajo el concepto mucho más amplio de que la capa de rodadura fuera capaz de absorber las lluvias, eliminando el agua superficial que se interpone entre neumático y pavimento. Con el transcurso del tiempo además se detectó la capacidad de absorber ruido generado por la rodadura de los vehículos, lo que conllevó a un aumento en su uso, haciendo de esta mezcla una de las de mayor desarrollo en Europa en los últimos años. [2]

En Europa se introdujo a finales de los años 70 y en 1980 hizo su aparición en España, donde se generalizó su uso solo a partir de 1985 con estudios que desarrollaron una metodología de diseño y control de estas mezclas. En

Latinoamérica se observa el notorio uso que se le ha dado a estos estudios en las normativas propias de cada región que contemplan el diseño de mezclas asfálticas porosas, mediante adaptaciones realizadas a las condiciones y materiales disponibles en cada región, países como Chile y Colombia, por ejemplo, donde se observa en sus respectivos documentos (Manual de Carreteras Chile, normas INV Colombia) las adaptaciones realizadas de los estudios españoles. [2]

Existen investigaciones realizadas en Europa sobre la incorporación de fibras de acero en las mezclas porosas, que hace que el asfalto sea conductivo. Esto implica que con la ayuda de una máquina de inducción de gran tamaño, se transmite electricidad al asfalto, lo que provoca que se calienten las fibras de acero. Al aumentar la temperatura (el sol también ayuda en este proceso de calentamiento), el asfalto se reparte al estar fundido y así se arreglan las posibles grietas que se formen con el paso de los vehículos. Con esto se podría doblar la vida útil de una carretera, lo que significa un gran ahorro económico. [3]

1.3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo tanto social como económico de un país se ve reflejado por la existencia de una red vial de excelencia; su estado y nivel de servicio deben ser de alta calidad, es decir las autopistas como caminos vecinales, para brindar una mejor comunicación entre la población.

Actualmente en Ecuador con el acelerado crecimiento de la infraestructura vial y por ende del parque automotor del país; se busca mejorar el comportamiento estructural de los pavimentos y ofrecer comodidad y seguridad al usuario.

En presencia de lluvia, lo más común que suceda en las carreteras es la formación de una capa de agua de bajo espesor en la superficie del pavimento. Como consecuencia de esto los usuarios pierden la adherencia neumático-pavimento, además de verse afectados por una notoria disminución de visibilidad, lo que produce una gran cantidad de accidentes de tránsito ante estas condiciones. Para evitar estos problemas

se necesita que el agua que cae en la superficie, sea evacuada rápidamente, que es justamente lo que se busca con el uso de las mezclas abiertas o porosas.

Es cada vez mayor el dilema: para lograr menores deformaciones y por consiguiente mayor rigidez, los porcentajes de asfalto en las mezclas deben disminuir, pero por otra parte para lograr menores fisuraciones los porcentajes deben aumentar.

Debido a la gran cantidad de problemas existentes en las obras viales, que el ingeniero diseñador de mezclas asfálticas debe minimizar, las capas asfálticas deben aumentar la durabilidad y evitar el deterioro del pavimento.

El desarrollo de esta investigación contemplará el obtener el diseño óptimo de una mezcla asfáltica con adición de fibras de acero; con la utilización de agregados y asfaltos de buena calidad y una dosificación adecuada en el laboratorio, con el propósito de contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica abierta con la adición de fibras de acero.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las mezclas asfálticas abiertas con la adición de fibras de acero y verificar el cumplimiento de parámetros de diseño de las mezclas.
- Determinar el contenido óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla asfáltica abierta.
- Evaluar los porcentajes de fibra de acero y asfalto óptimos, con el que se consiga el mejor comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas, que también reciben usualmente la denominación de aglomerados, están formadas por una combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican de forma mecánica en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. [4]

Actualmente se emplean no sólo en los pavimentos de carreteras y de calles, sino también en otro tipo de infraestructuras con tráfico: aeropuertos, superficies industriales, pistas deportivas. [4]

Los pavimentos de mezclas bituminosas son hoy las rodaduras preferidas por los usuarios, que aprecian sus cualidades de seguridad y comodidad. Los avances en la tipología, formulación y propiedades de estas mezclas son notables y continuos y abren campos y posibilidades cada vez más amplios en su utilización, suministrando una adecuada respuesta a las crecientes exigencias en su proyecto y construcción.

En todo caso, su versatilidad es notable y pueden utilizarse en muy diversos espesores, distintas características climáticas o diferentes superficies. [5]

2.1.1.1 Tipología de mezclas asfálticas

2.1.1.1.1 Mezclas asfálticas en caliente

Constituyen el tipo más generalizado. Se emplean tanto en las vías urbanas como en las autopistas, en las carreteras convencionales y en los aeropuertos; por otro lado, se utilizan tanto en las capas de rodadura como en las capas inferiores de los firmes. [4]

Para tal variedad de aplicaciones existen a su vez, dentro de esta familia de mezclas, subtipos con diferentes características. Se fabrican con betunes asfálticos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de ligantes modificados. [4]

Las proporciones del ligante, según la granulometría y el empleo de la mezcla, van aproximadamente del 3% al 6% sobre la masa del árido. Las mezclas asfálticas en caliente más empleadas para las capas de rodadura son mezclas cerradas. [4]

2.1.1.1.2 Mezclas asfálticas en frío

Son unas mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, tienen su principal campo de aplicación en la construcción y en la conservación de las carreteras secundarias.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se basa en que el ligante permanece un largo tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean unas emulsiones de asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, donde únicamente endurece la superficie, haciendo así viable el almacenamiento. Sin embargo después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla. [4]

2.1.1.1.3 Mezclas porosas o drenantes

Se emplean en capas de rodadura principalmente en las autopistas y en otras vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4,5% y el 5% de la masa del árido; con asfaltos normales se aplican en ocasiones en vías secundarias, en las vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón. [4]

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como rodadura en espesores de unos 4 cm, se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada, se evacúe rápidamente por infiltración. [4]

2.1.1.1.4 Micro-aglomerados

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo inferior a 10mm, lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. En este tipo de mezclas se citan los micro-aglomerados en frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) y los micro-aglomerados en caliente (que es inferior a 3 cm) que son aplicados en muchos tratamientos superficiales. [4]

Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, al extenderse en capas de pequeño espesor se evitan los problemas que pudieran surgir en relación con la altura de los bordillos o con el gálibo de las obras de paso. Hay micro-aglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados para las vías de alta velocidad de circulación. [4]

2.1.1.1.5 Masillas

Son unas mezclas con proporciones muy altas de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se halla disperso en la masilla formada por aquellos. Este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla. [4]

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Por su constante variación de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica por medio de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibra. Los asfaltos fundidos de este tipo, tienen mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, en países con climas fríos y húmedos. [4]

2.1.1.1.6 Mezclas de alto módulo

Su proceso de elaboración es en caliente, citando principalmente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6% de la masa de los agregados pétreos, la proporción de polvo mineral es muy alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad y una resistencia a la fatiga también relativamente elevada. Se utilizan en capas de espesores entre 8 y 15 cm tanto para rehabilitaciones como para la construcción de nuevas superficies de carretera con tráficos pesados de intensidad media o alta. [4]

2.1.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas pueden presentar propiedades y características muy diferentes. En esto estriba su versatilidad y sus posibilidades de empleo en circunstancias y con requerimientos muy diversos. [5]

- La primera característica que debe tener una mezcla asfáltica es la *estabilidad*, entendida como la aptitud para resistir cargas y soportar las tensiones por ellas producidas sin deformaciones excesivas. [5]
- Una propiedad importante es la *resistencia a las deformaciones plásticas* que, durante años, constituyeron uno de los mayores inconvenientes de estas mezclas para su utilización en determinadas circunstancias. Se trata de deformaciones permanentes y no recuperables y se producen con tráfico pesado, a alta temperatura o baja velocidad de circulación. Variables que influyen en su formación, aparte tráfico y temperatura, son el tipo y cantidad de ligante, su susceptibilidad térmica, la rigidez de la masilla polvo mineral-betún y las características (fundamentalmente la granulometría) del esqueleto mineral de la mezcla, así como la angulosidad del árido. [5]

- La *flexibilidad* permite a una mezcla admitir sin fisuración las deformaciones impuestas. Guarda una relación directa con la fatiga y tiene importancia cuando la mezcla se extiende sobre un medio deformable, tal como una capa granular o un tablero de un puente. [5]
- La *resistencia a la fatiga* toma valor con comportamientos elásticos, a bajas temperaturas y elevada velocidad de paso de las cargas. Es la capacidad de soportar los esfuerzos provocados por el tránsito. [5]
- La *resistencia al envejecimiento o durabilidad* hace referencia a la resistencia de las capas de rodadura a los agentes externos. Es un fenómeno complejo, ligado al envejecimiento del betún y en el que interviene la luz solar, la oxidación por el aire y el agua, la acción de los carburantes y aceites provenientes del tráfico. [5]
- La *resistencia al deslizamiento*, sólo necesaria en capas de rodadura, ha de ser suficiente para garantizar una conducción segura y ha de mantenerse en el tiempo. [5]
- La *impermeabilidad* es una de las exigencias que deben imponerse a las mezclas asfálticas, a fin de proteger a las capas inferiores y, en general, a la infraestructura, de los efectos del agua. Esto no significa que necesariamente esta misión deba confiarse a la capa de rodadura y así, el empleo de rodaduras constituidas por mezclas drenantes o algún tipo de mezclas discontinuas, en ambos casos permeables, exige disponer una mezcla asfáltica impermeable como capa inmediatamente inferior. [5]

2.1.2 Asfalto

Es aquella sustancia de color oscuro que puede ser líquida, semisólida o sólida, compuesta esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedente de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción, cuyas

cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas los hacen óptimos para un gran número de aplicaciones. [6]

Muchos de los asfaltos usados en trabajos de pavimentación provienen de la destilación del petróleo. Los principales tipos de ligantes bituminosos que se emplean actualmente para la elaboración de las mezclas asfálticas son los asfaltos naturales, los cementos asfálticos o asfaltos de penetración, los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados, las emulsiones asfálticas y los crudos del petróleo. [6]

2.1.2.1 Clasificación del Asfalto

Asfaltos naturales

Formados por procesos análogos que ocurren en la naturaleza, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros mezclados con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias. Estos asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas, entre las que se destacan los manantiales, los lagos y las exudaciones. [6]

Asfalto derivado del petróleo

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza hoy en día en el mundo procede de la refinación del petróleo. El asfalto derivado del petróleo se llama a veces asfalto residual (residuo de la destilación del petróleo), para distinguirlo de los asfaltos naturales. [6]

Cementos asfálticos sólidos

Son asfaltos refinados o una combinación de un asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo), de una viscosidad apropiada para los trabajos de pavimentación.

Son ideales para pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, poseen características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayor parte de ácidos, sales y alcoholes. [6]

Asfaltos líquidos

También denominados asfaltos rebajados o *cut backs*, se definen según el Instituto del Asfalto como “material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300”.

Están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser bencina, queroseno o aceite. [6]

Emulsiones asfálticas

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles, como el asfalto (60-70%) y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficies (0.2-1%), tensoactivo o emulsificante, básico o ácido, el cual mantiene en dispersión el sistema; la fase continua es el agua y la discontinua son los glóbulos de asfalto, cuyo tamaño oscila entre uno y diez micrones. [6]

2.1.2.2 Uso del Asfalto

En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades[6]:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los

vehículos. Igualmente, mejora la capacidad portante de la estructura y, por ende, permite disminuir el espesor. [6]

2.1.2.3 Cemento asfáltico AC-20

Es obtenido de los procesos de refinación por destilación del crudo de petróleo en las refinerías. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- Destilación por vacío
- Extracción con solventes

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos.

El asfalto utilizado en este proyecto es el AC-20 que posee un menor grado de penetración y mayor consistencia, obtenido en la empresa JEAL Construcciones de la ciudad de Ambato, también es el que se utiliza en las vías de nuestro país teniendo las siguientes características:

Tabla N° 1 Características del cemento asfáltico AC-20

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

Fuente: Informe de resultados- Petroecuador

2.1.3 Agregados pétreos

En pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o *fillers* (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular. [7]

En términos generales, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquellas con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de *filler* o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad, $IP=0$). [7]

Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas.

2.1.3.1 Propiedades de los agregados pétreos

Los agregados conforman entre el 90% y el 95% en peso de la mezcla; esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento de la mezcla asfáltica. Para ser apropiados para una mezcla asfáltica de buena calidad deberán poseer ciertas propiedades como[8]:

- Gradación y tamaño
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso específico [8]

2.1.3.2 Ensayos requeridos en los agregados

Los materiales pétreos son ensayados para verificar la calidad de los mismos. Las muestras del material son obtenidas de la empresa JEAL Construcciones ubicada en el sector Las Viñas de la ciudad de Ambato y ensayadas en los Laboratorios de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato.

2.1.3.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso y fino (INEN 696)

Este método cubre la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado. Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño. [9]

2.1.3.2.2 Resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles (INEN 860)

Este ensayo es utilizado para medir la resistencia a la abrasión o desgaste por fricción entre partículas. Durante la prueba agregados de hasta 37.5 mm son impactados dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8 mm y una masa comprendida entre 390 g y 445 g, las cuales lo fracturan. [7]

2.1.3.2.3 Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino (INEN 856)

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. La densidad relativa SSS y absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un período definido. [10] Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento gravimétrico utilizando el picnómetro.

2.1.3.2.4 Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso (INEN 857)

Mediante este método se determina la densidad relativa y absorción del árido fino sin incluir el volumen de vacíos entre partículas. [11] La muestra se deberá saturar en agua por un período definido como en el caso del árido fino.

2.1.4 Fibras

Son filamentos de corta longitud y pequeña sección transversal que pueden ser de diversos materiales naturales o de procedencia industrial. Al ser delgados se doblan fácilmente. [12]

Existen varias fibras que se las pueden clasificar de la siguiente manera:

- Fibra natural
- Fibra sintética
- Fibra de vidrio
- Fibra de acero

Fibra natural

A la fibra natural se la puede clasificar de acuerdo a su origen en orgánico y mineral. De las fibras naturales las que mayor uso tienen son las de origen orgánico las más conocidas son las fibras vegetales, las mismas que tienen diferentes formas y tamaños. [12]

Fibra sintética

La fibra sintética es una fibra textil que se obtiene por síntesis orgánica de diversos productos derivados del petróleo. Existen dos formas diferentes de fibras sintéticas: las de multifilamentos y las producidas de cinta de fibrilla. [12]

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio, tal como lo indica su nombre, es un material que consiste en numerosos y extremadamente finas fibras de vidrio es de origen mineral y se da como resultado a una serie de procesos de transformación de los diferentes materiales que la componen, como son: arena de sílice, que es un material compuesto de fibras continuas o discontinuas a la cual se añade otros componentes como cal, alúmina y magnesia, así como determinados óxidos. [13]

Fibra de acero

Las fibras de acero se definen como pequeños pedazos discontinuos de acero. Son elementos con la característica que presentan una dimensión predominante respecto a las demás, cuya superficie puede ser lisa o labrada. [13]

2.1.5 Diseño de mezclas asfálticas

El principal objetivo del diseño de mezclas asfálticas es obtener una combinación y graduación económica de asfalto y agregados que cumpla con:

- Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación
- Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad. [14]

Los métodos más comunes para el diseño de mezclas asfálticas fundamentalmente son los siguientes:

- Método Marshall
- Método de Hubbard Field
- Método de HVEEM

De todos los métodos descritos el que tiene mayor difusión y aplicación en nuestro medio es el método Marshall [14], por lo cual será utilizado en el desarrollo de este trabajo experimental.

2.1.6 Método Marshall (AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225)

Fue desarrollado por Bruce Marshall. Consiste en esencia, una vez fijada la granulometría de los agregados, en la preparación de probetas normalizadas, cada una de ellas con distinto contenido de betún. Estas probetas son compactadas, también según un procedimiento normalizado y finalmente sometidas a rotura en la prensa Marshall. [5]

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación que usan cemento asfáltico con viscosidad o penetración especificado y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente de pavimentación. [15]

Metodología

Para la elaboración de las probetas se sigue el procedimiento de la norma I.N.V.E – 748 -07.

- Como mínimo se deberán preparar 3 probetas para cada porcentaje de asfalto.
- Para cada probeta se mezclan las cantidades necesarias de cada fracción de agregados y cemento asfáltico para alcanzar un peso de 1200 gr.

- Se mezcla los agregados en una bandeja y se calienta a una temperatura entre 160° y 180°, a la par se calienta el cemento asfáltico a la temperatura necesaria. Se forma un cráter en el centro de la mezcla de agregados dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto y se mezclan los materiales lo más rápidamente posible.
- Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base, se limpian y calientan a una temperatura comprendida entre 90° y 150°.
- Se arma el conjunto del molde previamente engrasado para ser colocada la mezcla recién preparada dentro del molde y se la golpea con una espátula fina 15 veces alrededor del perímetro y 10 en la parte central.
- Se compacta la mezcla con el martillo aplicando 75 golpes en cada cara de la probeta y cuidando que el martillo se mantenga vertical.
- Una vez terminada la compactación se retira el collarín y se deja enfriar a la temperatura ambiente por dos horas.
- Finalmente se saca la probeta del molde con la ayuda del extractor, se identifica con una crayola y se mide su espesor; se coloca sobre una superficie lisa y bien ventilada durante una noche.
- Se toman los pesos de las probetas secas en el aire, sumergidas en el agua y saturada en el aire, después se introducen en un baño de agua durante 30 minutos a 60° para ser ensayadas en la máquina Marshall para determinar la estabilidad y flujo. [16]

Ensayo de probetas compactadas

Cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos:

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

Los cálculos se realizan con la ayuda del siguiente formulario como se describe:

A Identificación de la probeta

B Porcentaje de cemento asfáltico para un juego de tres probetas

C Espesor de cada probeta en centímetros

D Peso en el aire de la probeta en gramos

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

F Peso en gramos de la probeta 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.

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

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 masa de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire:

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

I El peso específico máximo medido 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:

$$\frac{(I - H)x10^4}{IxHx\%Agreg}$$

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

$$\frac{\%AgregxG}{Gagr}$$

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

$$\left(1 - \frac{G}{I}\right)x100$$

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

$$100 - K - L$$

N Se determina el porcentaje de vacíos que contienen los agregados minerales en la mezcla compactada:

$$100 - K$$

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

$$\%CA - \frac{Jx\%Agreg}{100}$$

P Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto

$$\frac{N - L}{N}x100$$

Q Se pone la lectura que marca el dial de la Estabilidad Marshall al realizar el ensayo de la probeta de acuerdo al procedimiento indicado. El valor de la estabilidad se registra en libras.

R Se registra el factor de corrección que depende del espesor de las probetas, de acuerdo a la Tabla N° 47.

S Con los factores de corrección, se rectifica los valores de la estabilidad de cada probeta:

$$Q \times R$$

Q= Factor de corrección por espesor de la probeta

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 expresado en centésimas de pulgada. [15]

2.2 HIPÓTESIS

La mezcla asfáltica con adición de fibra de acero mejora sus propiedades mecánicas.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Independiente

Adición de fibra de acero.

2.3.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación a desarrollarse en el presente proyecto es: exploratorio, experimental y de laboratorio.

Exploratorio ya que las mezclas asfálticas con adición de fibras no son comunes en nuestro país al no existir un estudio profundo acerca de su uso y propiedades.

Experimental debido a que se analizará el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de asfalto y fibra de acero, para obtener así una mezcla óptima.

De laboratorio al ser necesaria la realización de las briquetas de asfalto tradicional y asfalto con adición de fibra de acero con porcentajes de 1%, 1.5% y 2% dentro de un laboratorio que cuente con los equipos necesarios para su elaboración, además desarrollar los estudios y ensayos para conocer las propiedades de los agregados y determinar el contenido óptimo de asfalto y fibra de acero para la mezcla asfáltica.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Al ser este proyecto de tipo experimental se considera que la población y muestra van a ser las mismas, en base a la norma AASHTO T 245, ASTM D 1559, se elaboran y ensayan a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y tres briquetas de asfalto con adición de fibra de acero en porcentajes de 1%, 1.5% y 2% por cada porcentaje de cemento asfáltico, teniendo así un total de 60 briquetas.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Adición de fibra de acero.

Tabla N° 2 Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Categoría	Indicador	ítems	Técnicas e instrumentos
La mezcla asfáltica es una combinación de agregados grueso, fino y un ligante hidrocarbonato; a la cual se le puede añadir fibras para que presenten un mejor comportamiento mecánico.	Mezcla asfáltica	Calidad de la mezcla asfáltica	¿Cuáles son las normas que una mezcla asfáltica debe cumplir para que sea de buena calidad?	Investigación Bibliográfica Normas: AASHTO ASTM INEN
	Fibra de acero	Calidad	¿Cuáles son las características de las fibras de acero a emplearse?	Investigación Bibliográfica y Experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje adecuado para ser incorporada en la mezcla asfáltica?	Investigación de Laboratorio y Experimental.

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

3.3.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

Tabla N° 3 Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>Propiedades mecánicas:</p> <p>Estabilidad: Es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito.</p> <p>Flujo: Es la capacidad de deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.</p>	Asfalto	Contenido óptimo de asfalto	¿Cuál es el porcentaje óptimo de asfalto para que la mezcla alcance una estabilidad y flujo adecuados?	<p>Ensayos de laboratorio.</p> <p>Normas: AASHTO ASTM</p>
	Ensayo Marshall	Equipo y materiales	¿Cuáles son los equipos y materiales necesarios para la elaboración de las briquetas y ensayarlas?	Normas: AASHTO ASTM
		Muestreo	¿Cuál es el volumen y peso de las briquetas?	Investigación de Laboratorio

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla N° 4 Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué?	Analizar la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas con adición de fibras de acero y mezclas asfálticas tradicionales.
¿De qué personas u objetos?	De briquetas de mezclas asfálticas con adición de fibra de acero en porcentajes de 1%, 1.5% y 2%, y mezclas asfálticas tradicionales.
¿Sobre qué aspectos?	Variación de la estabilidad y flujo de las diferentes briquetas de mezclas asfálticas.
¿Quién?	Karla Gabriela Capa Moya
¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. Laboratorio de Mecánica de Suelos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato.
¿Cómo?	Mediante investigación bibliográfica y ensayos de laboratorio.

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información

- Revisión minuciosa de la información recolectada.
- Tabulación de datos según variables de la hipótesis.
- Elaboración de gráficas para la interpretación de resultados.

3.5.2 Plan de Análisis

- A partir de lo planteado en los objetivos e hipótesis, analizar e interpretar los resultados obtenidos.
- Verificación de la hipótesis.
- Determinación de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En este capítulo se describen los ensayos realizados a los agregados, previo a la fabricación de las briquetas de asfalto, los cuales fueron obtenidos de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones del sector Las Viñas en la provincia de Tungurahua.

La realización de los ensayos deben seguir las respectivas normas MOP (NEVI-12) e INEN para la correcta obtención de resultados.

4.1.1 Ensayos realizados a los Agregados

Agregado grueso

- Análisis granulométrico
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso
- Resistencia al desgaste por abrasión

Agregado fino

- Análisis granulométrico
- Gravedad específica y absorción del agregado fino

4.1.1.1 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad porcentual de los distintos tamaños de las partículas que constituyen la muestra, fiel reflejo del suelo examinado. Se logra con tamices cuyas aberturas son estandarizadas. Este ensayo se realizó de acuerdo a lo descrito en la sección 811-4.9 (NEVI-12).

Tabla N° 5 Requisitos de Graduación

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	3/8"	1/2"	3/4"
1" (25.4 mm)	-	-	100
3/4" (19 mm)	-	100	85 a 100
1/2" (12.7 mm)	100	80 a 100	55 a 70
3/8" (9.50 mm)	85 a 100	35 a 60	-
N°4 (4.75 mm)	20 a 30	10 a 25	10 a 25
N°8 (2.36 mm)	5 a 15	5 a 10	5 a 10
N°200 (0.075 mm)	0 a 4	0 a 4	0 a 4

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12

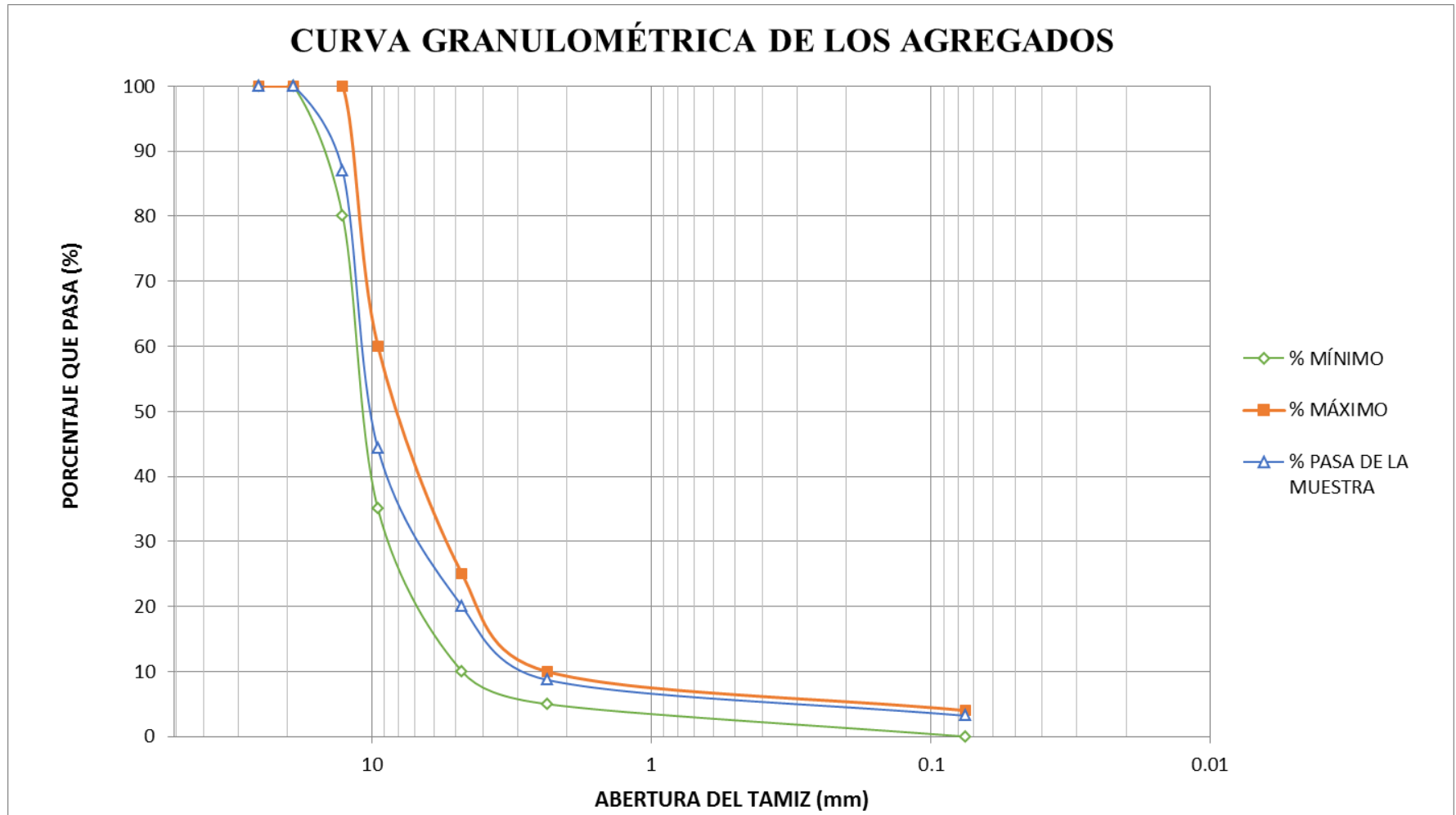
En este caso se utilizará la graduación del tamiz 1/2".

Tabla N° 6 Análisis Granulométrico de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO						
<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS</i>						
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato					
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya					
FECHA:	Jueves, 15 de Junio de 2017					
NORMA:	NTE INEN 696					
PESO MUESTRA (gr):	1200					
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificación 1/2" MOP (NEVI-12)
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	-
3/4"	19	0	0	0.00%	100.00%	100
1/2"	12.7	156.4	156.4	13.03%	86.97%	80-100
3/8"	9.5	512.3	668.7	55.73%	44.28%	35-60
N° 4	4.75	290.9	959.6	79.97%	20.03%	10-25
N° 8	2.36	135.7	1095.3	91.28%	8.72%	5-10
N° 200	0.075	60.3	1155.6	96.30%	3.70%	0-4
BANDEJA		44.4	1200	100.00%	0.00%	-

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 1 Curva Granulométrica de los Agregados



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.1.2 Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado fino.

La Norma INEN 856 describe el procedimiento para determinar la gravedad específica y la absorción del agregado fino sumergido en agua por un período de 24 horas. Se empleará el método del picnómetro.

La muestra debe estar sumergida en agua por 24 ± 4 horas, después de este tiempo se la retira del agua y se extiende en una superficie plana no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla frecuentemente para tener un secado homogéneo.

Para comprobar que la muestra está saturada superficialmente seca SSS, se vierte dentro del molde una cantidad de agregado fino y se lo compacta con 25 golpes ligeros del compactador, se retira el molde verticalmente y si se desmorona ligeramente indica que ha alcanzado la condición SSS.

Se pesa el picnómetro vacío, se pesa 50g de muestra SSS para colocarla en el picnómetro con agua hasta la marca de aforo y se pesa el conjunto.

Agitar el picnómetro para liberar las burbujas de aire, se toma la temperatura del picnómetro y su contenido.

Se retira el agregado fino del picnómetro y se introduce la muestra en el horno por 24 ± 4 horas para determinar su masa. [10]

Tabla N° 7 Densidad Relativa del Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Martes, 20 de Junio de 2017		
NORMA:	INEN 856		
PESO MUESTRA (gr):	50		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Masa del picnómetro	m1	gr	163.70
Masa del picnómetro + agregado (sss)	m2	gr	213.70
Masa del picnómetro + agregado (sss) + agua	m3	gr	692.90
Masa del agua añadida (m3 - m2)	m4	gr	479.20
Masa del picnómetro + 500 cc de agua	m5	gr	661.50
Masa de 500cc de agua (m5 - m1)	m6	gr	497.80
Temperatura del agua	m7	°C	20.00
Factor corrección	Da	g/cc	0.9982
Masa del agua desalojada por la muestra (m6-m4)	m8	gr	18.60
Masa del agregado (m2 - m1)	Msss	gr	50.00
Volumen de agua desalojada (m8/Da)	Vsss	cc	18.63
Masa del agregado después de 24 horas en el horno	m9	gr	49.40
DENSIDAD DE LA ARENA (Msss/Vsss)	DRA	gr/cc	2.683
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	$CA = (M_{sss} - m_9) / m_9 * 100$	%	1.215

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.1.3 Densidad Relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado grueso.

La Norma INEN 857 detalla el método de ensayo para determinar la gravedad específica y la absorción del agregado grueso sumergido en agua por un período de 24 horas.

La muestra de agregado grueso debe permanecer sumergida en agua a temperatura ambiente durante un período de 24 ± 4 horas.

Retirar la muestra del agua una vez que ha transcurrido el tiempo establecido, colocarla sobre una franela para ser secada superficialmente. Determinar la masa en

condición SSS de la muestra de ensayo con la canastilla en aire como en agua para los cálculos respectivos.

Tabla N° 8 Densidad Relativa del Agregado Grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO GRUESO</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Martes, 20 de Junio de 2017		
NORMA:	INEN 857		
PESO MUESTRA (gr):	2726		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Masa de la canastilla en el aire	m1	gr	1473.00
Masa de la canastilla en el agua	m2	gr	1287.00
Masa de la canastilla + agregado SSS en el aire	m3	gr	4199.00
Masa de la canastilla + agregado SSS en el agua	m4	gr	2939.00
Densidad real del agua	DRA	gr/cc	1.00
Masa del agregado SSS en el aire (m3 - m1)	m5	gr	2726.00
Masa del agregado SSS en el agua (m4 - m2)	m6	gr	1652.00
Masa del agregado después de 24h en el horno	m7	gr	2674.60
Volumen del agregado (m5 - m6)/DRA	VR	cc	1074.00
DENSIDAD DEL RIPIO (m5/VR)	DR	gr/cc	2.538
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	CA=((m5-m7)/m7)*100	%	1.922

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.1.4 Resistencia al desgaste por abrasión

En la norma INEN 860 se indica el procedimiento para la determinación del valor de la resistencia al desgaste de los agregados que es utilizado como un indicador de la calidad del agregado.

Este ensayo se realiza en la Máquina de los Ángeles con un número de esferas según la Tabla N° 9 y la gradación de la muestra según lo establecido en la Tabla N° 10.

Tabla N° 9 Especificaciones de la Carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Fuente: INEN 860**Tabla N° 10** Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1250±25	----	----	----
25,0	19,0	1250±25	----	----	----
19,0	12,5	1250±10	2500±10	----	----
12,5	9,5	1250±10	2500±10	----	----
9,5	6,3	----	----	2500±10	----
6,3	4,75	----	----	2500±10	----
4,75	2,36	----	----	----	5000±10
	Total	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: INEN 860

La muestra de agregados debe estar lavada y secada al horno a una temperatura constante y combinada de acuerdo a una de las granulometrías de la Tabla N° 10.

Según el tipo de gradación escogida se coloca la muestra y el número de esferas en la Máquina de los Ángeles para hacerla girar a una velocidad entre 188 y 208 rad/mi (30 y 33 rpm) un total de 500 vueltas.

Al terminar de girar el número de vueltas indicado se retira el material de la máquina para ser tamizado por el tamiz N°12 (1,70mm), se pesa para los respectivos cálculos. El desgaste máximo permisible es del 40%. [17]



$$D = \left(\frac{A}{A - B} \right) * 100$$

Donde:

A= Masa de la muestra antes del ensayo

B= Masa de la muestra retenida en el tamiz N°12

Tabla N° 11 Resistencia al desgaste por Abrasión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO		
<i>RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN</i>		
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato	
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya	
FECHA:	Viernes, 23 de Junio de 2017	
NORMA:	INEN 860	
PESO MUESTRA (gr):	5000	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Masa de la Muestra a ensayar A	gr	5000
Masa Desgastada B	gr	3542
Masa perdida por Desgaste C=A-B	gr	1458
Desgaste del Agregado D=(C/A)*100	%	29.16

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya



4.1.2 Dosificación de las briquetas

Se elaboraron briquetas con las siguientes dosificaciones de acuerdo al porcentaje de asfalto y fibra de acero para ser ensayadas.

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaboran 3 briquetas.

4.1.2.1 Dosificación briquetas convencionales

Tabla N° 12 Granulometría mezcla asfáltica convencional

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO								
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS								
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato						
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya						
FECHA:		Jueves, 29 de Junio de 2017						
NORMA:		NTE INEN 696						
PORCENTAJE DE ASFALTO				3%	3.5%	4%	4.5%	5%
Tamiz(plg)	% Pasa (Especificado)	Granulometría diseño	% Retenido	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)
3/4"	100	100%	0%	0	0	0	0	0
1/2"	80-100	85%	15%	174.6	173.7	172.8	171.9	171
3/8"	35-60	40%	45%	523.8	521.1	518.4	515.7	513
N°4	10-25	15%	25%	291	289.5	288	286.5	285
N° 8	5-10	5%	10%	116.4	115.8	115.2	114.6	114
N° 200	0-4		5%	58.2	57.9	57.6	57.3	57
Asfalto				36	42	48	54	60
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.2.2 Dosificación briquetas con 1% de fibra de acero



Tabla N° 13 Granulometría mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO								
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON 1% DE FIBRA DE ACERO								
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato						
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya						
FECHA:		Jueves, 29 de Junio de 2017						
NORMA:		NTE INEN 696						
PORCENTAJE DE ASFALTO				3%	3.5%	4%	4.5%	5%
Tamiz(plg)	% Pasa (Especificado)	Granulometría diseño	% Retenido	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)
3/4"	100	100%	0%	0	0	0	0	0
1/2"	80-100	85%	15%	172.8	171.9	171	170.1	169.2
3/8"	35-60	40%	45%	518.4	515.7	513	510.3	507.6
N°4	10-25	15%	25%	288	286.5	285	283.5	282
N° 8	5-10	5%	10%	115.2	114.6	114	113.4	112.8
N° 200	0-4		5%	57.6	57.3	57	56.7	56.4
Asfalto				36	42	48	54	60
Fibra Acero				12	12	12	12	12
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.2.3 Dosificación briquetas con 1.5% de fibra de acero


Tabla N° 14 Granulometría mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO								
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON 1.5% DE FIBRA DE ACERO								
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato						
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya						
FECHA:		Jueves, 29 de Junio de 2017						
NORMA:		NTE INEN 696						
PORCENTAJE DE ASFALTO				3%	3.5%	4%	4.5%	5%
Tamiz(plg)	% Pasa (Especificado)	Granulometría diseño	% Retenido	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)
3/4"	100	100%	0%	0	0	0	0	0
1/2"	80-100	85%	15%	171.9	171	170.1	169.2	168.3
3/8"	35-60	40%	45%	515.7	513	510.3	507.6	504.9
N°4	10-25	15%	25%	286.5	285	283.5	282	280.5
N° 8	5-10	5%	10%	114.6	114	113.4	112.8	112.2
N° 200	0-4		5%	57.3	57	56.7	56.4	56.1
Asfalto				36	42	48	54	60
Fibra Acero				18	18	18	18	18
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.2.4 Dosificación briquetas con 2% de fibra de acero

Tabla N° 15 Granulometría mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO								
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON 2% DE FIBRA DE ACERO								
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato						
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya						
FECHA:		Jueves, 29 de Junio de 2017						
NORMA:		NTE INEN 696						
PORCENTAJE DE ASFALTO				3%	3.5%	4%	4.5%	5%
Tamiz(plg)	% Pasa (Especificado)	Granulometría diseño	% Retenido	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)	Peso Mat. (gr)
3/4"	100	100%	0%	0	0	0	0	0
1/2"	80-100	85%	15%	171	170.1	169.2	168.3	167.4
3/8"	35-60	40%	45%	513	510.3	507.6	504.9	502.2
N°4	10-25	15%	25%	285	283.5	282	280.5	279
N° 8	5-10	5%	10%	114	113.4	112.8	112.2	111.6
N° 200	0-4		5%	57	56.7	56.4	56.1	55.8
Asfalto				36	42	48	54	60
Fibra Acero				24	24	24	24	24
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3 Ensayos realizados a las mezclas asfálticas

4.1.3.1 Ensayo Rice a la mezcla asfáltica convencional

Este ensayo sirve para determinar la gravedad y densidad máxima teórica de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25° y se lo realiza para cada porcentaje de asfalto.

Primero se debe enfriar la muestra a temperatura ambiente, se pesa el recipiente vacío para después colocar la muestra en su interior y tomar de igual manera su peso, se coloca agua suficiente para cubrir la muestra y se ubica el conjunto en la máquina de vacíos para extraer el aire, se deja durante 15 minutos.

Finalmente se toma el peso y se procede a calcular la densidad máxima teórica de cada muestra. [18]

Tabla N° 16 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 3% de asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato	
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya	
FECHA:		Jueves, 13 de Julio de 2017	
NORMA:		ASTM D 2041	
PORCENTAJE ASFALTO		3%	
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4076.40
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1174.20
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8117.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.536

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 17 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 3.5% de asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:		JEAL Construcciones - Ambato	
ENSAYADO POR:		Karla Gabriela Capa Moya	
FECHA:		Jueves, 13 de Julio de 2017	
NORMA:		ASTM D 2041	
PORCENTAJE ASFALTO		3.5%	
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4065.30
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1163.10
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8106.70
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.513

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 18 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 4% de asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 13 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO	4%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4038.10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1135.90
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8088.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.505

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 19 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 4.5% de asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 13 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO	4.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4062.10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1159.90
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8100.90
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.492

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 20 Ensayo Rice mezcla asfáltica convencional con 5% de asfalto

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 13 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO	5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3990.70
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1088.50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8053.50
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.466

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.2 Ensayo Marshall a la mezcla asfáltica convencional

Una vez fabricadas las probetas se toma su peso seco en aire, sumergida en agua y saturada para los cálculos de densidades.

Se deja en baño María a 60 °C durante 30 minutos las probetas para ser ensayadas en la máquina Marshall y obtener los valores de estabilidad y flujo de cada una.

Tabla N° 21 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas convencionales

Gagr: 2.559

Gasf: 1.0239

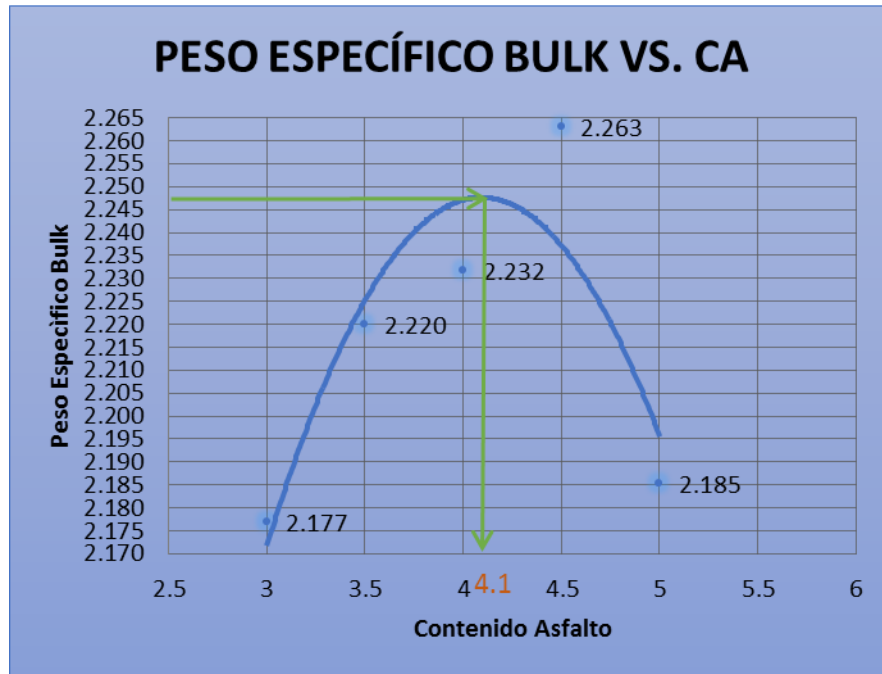
N° de Golpes: 75

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																					
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)				ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL				VACÍOS 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)	GEOMÉTRICO	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	VACÍOS TOTALES	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	G1	H	I	J	K	L	L1	M	N	O	P	Q	R	S	T
1.1	3	6.26	935.5	956.8	526.5	2.174	1.843											1315	1.024	1346.56	10
1.2		5.75	959.2	979.7	537	2.167	2.058											1261	1.181	1489.24	9
1.3		6.7	1041.5	1071	595.5	2.190	1.917												1254	0.923	1157.44
PROMEDIO						2.177	1.939	2.449	2.536	1.444	82.522	14.156	23.524	3.322	17.478	1.599	19.007			1331.08	10
2.1	3.5	6	949.5	969.2	538.1	2.203	1.952											1406	1.103	1550.82	10
2.2		7.23	1089.6	1117.7	621.1	2.194	1.859											1541	0.82	1263.62	11
2.3		6.32	944.7	967.7	550.2	2.263	1.844											1495	1.008	1506.96	13
PROMEDIO						2.220	1.885	2.431	2.513	1.391	83.718	11.659	24.996	4.623	16.282	2.158	28.393			1440.47	11
3.1	4	5.74	910.5	935.2	528.6	2.239	1.957											1805	1.184	2137.12	10
3.2		6.52	972.9	994.5	556.6	2.222	1.841											1766	0.958	1691.83	13
3.3		6.5	1146.8	1165.6	652.3	2.234	2.176											1819	0.963	1751.70	14
PROMEDIO						2.232	1.991	2.414	2.505	1.568	83.722	10.912	20.516	5.366	16.278	2.495	32.965			1860.22	12
4.1	4.5	5.58	979.6	998.8	583.4	2.358	2.165											1833	1.243	2278.42	12
4.2		6.74	1058.1	1080.3	603.1	2.217	1.936											1913	0.913	1746.57	12
4.3		6.38	1080.2	1103.2	615.4	2.214	2.088											1929	0.993	1915.50	14
PROMEDIO						2.263	2.063	2.397	2.492	1.665	84.455	9.189	17.2	6.356	15.545	2.910	40.888			1980.16	13
5.1	5	7.23	1089.6	1113.6	618.8	2.202	1.859											1934	0.820	1585.88	12
5.2		6.65	1026	1051.5	577.6	2.165	1.903											1976	0.934	1845.58	13
5.3		7	1096.7	1121.4	620.3	2.189	1.932											1963	0.858	1684.25	15
PROMEDIO						2.185	1.898	2.380	2.466	1.542	81.13	11.381	23.028	7.489	18.87	3.535	39.687			1705.24	13

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

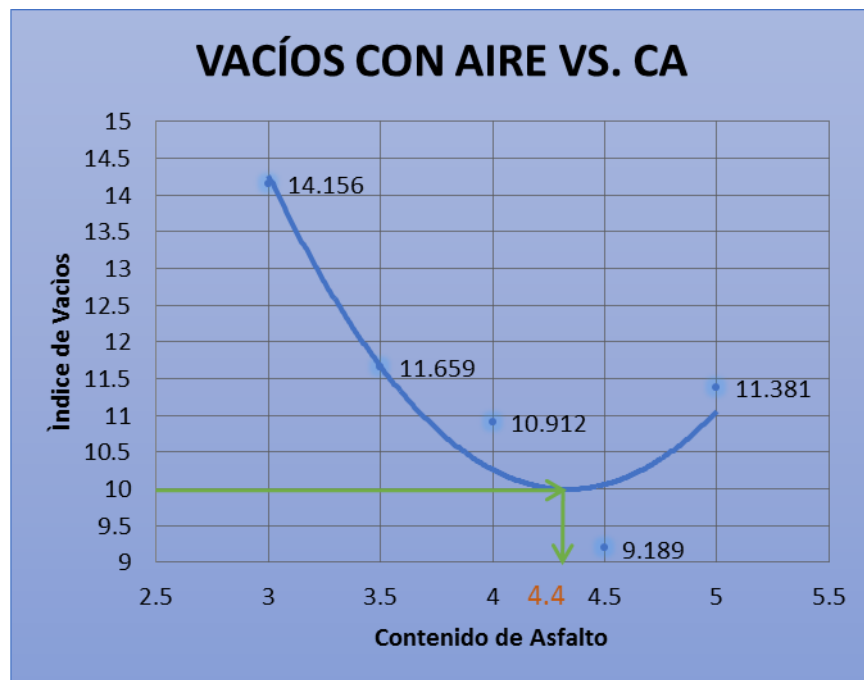
4.1.3.2.1 Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica convencional

Gráfico N° 2 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto



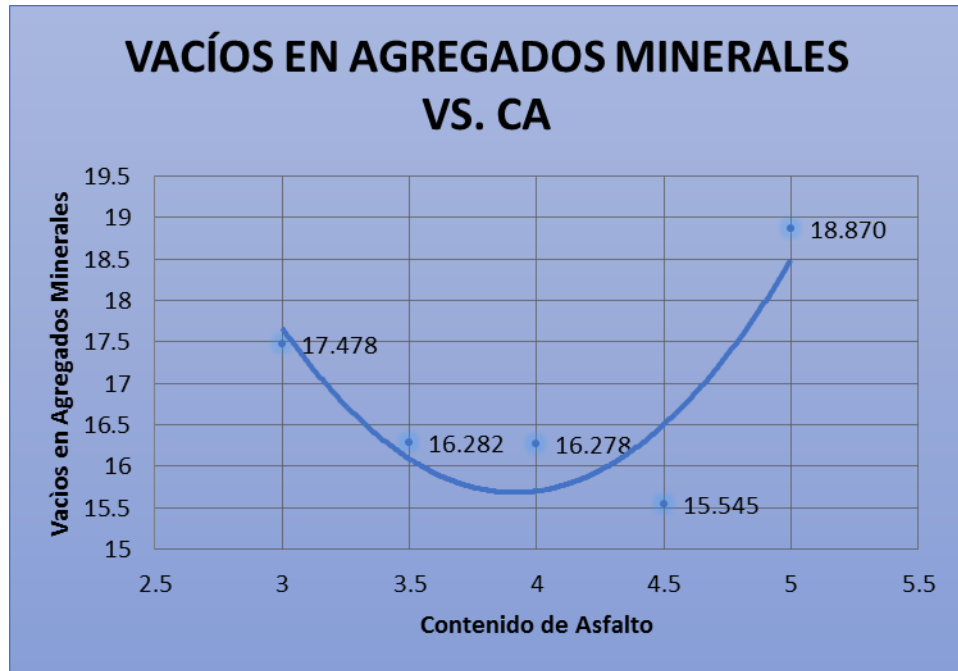
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 3 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto



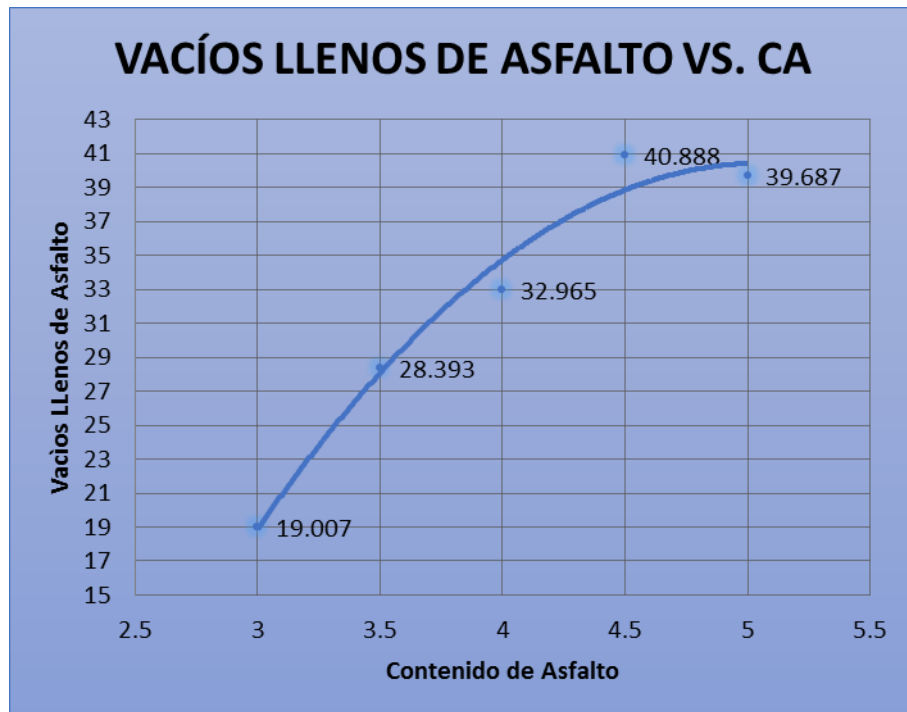
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 4 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto



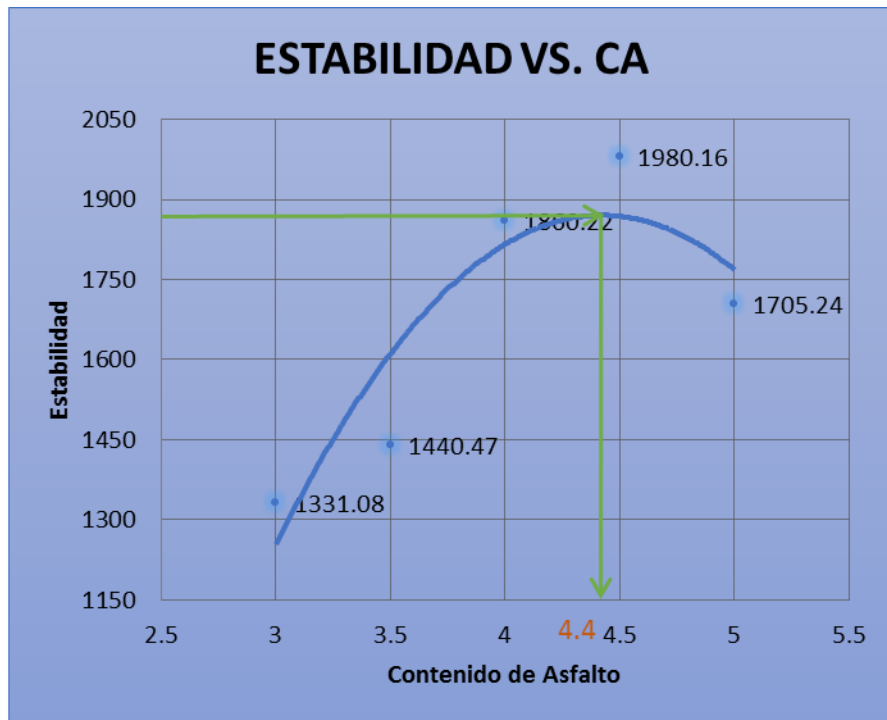
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 5 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto



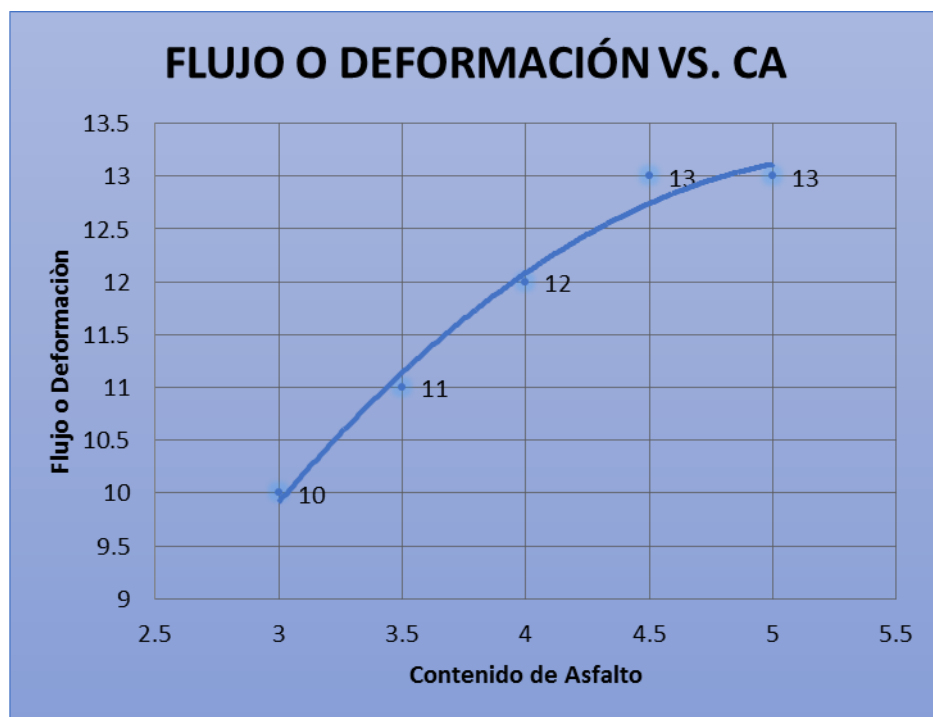
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 6 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 7 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.2.2 Determinación del contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica convencional

Para realizar esta determinación se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, el promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla N° 22 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica convencional

Peso específico Bulk	4.1 %
Índice de vacíos	4.4 %
Estabilidad	4.4 %
Contenido óptimo de asfalto	4.3 %

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.3 Ensayo Rice a la mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

Tabla N° 23 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 14 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4100.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1198.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8133.30
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.541

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 24 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 14 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4043.90
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1141.70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8092.70
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.507

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 25 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 14 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4058.70
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1156.50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8094.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.470

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 26 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Lunes, 17 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3992.40
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1090.20
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8055.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.472

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 27 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 1% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Lunes, 17 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3980.70
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1078.50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8044.50
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.449

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.4 Ensayo Marshall a la mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

Tabla N° 28 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 1% de fibra de acero

Gagr: 2.559

Gasf: 1.0239

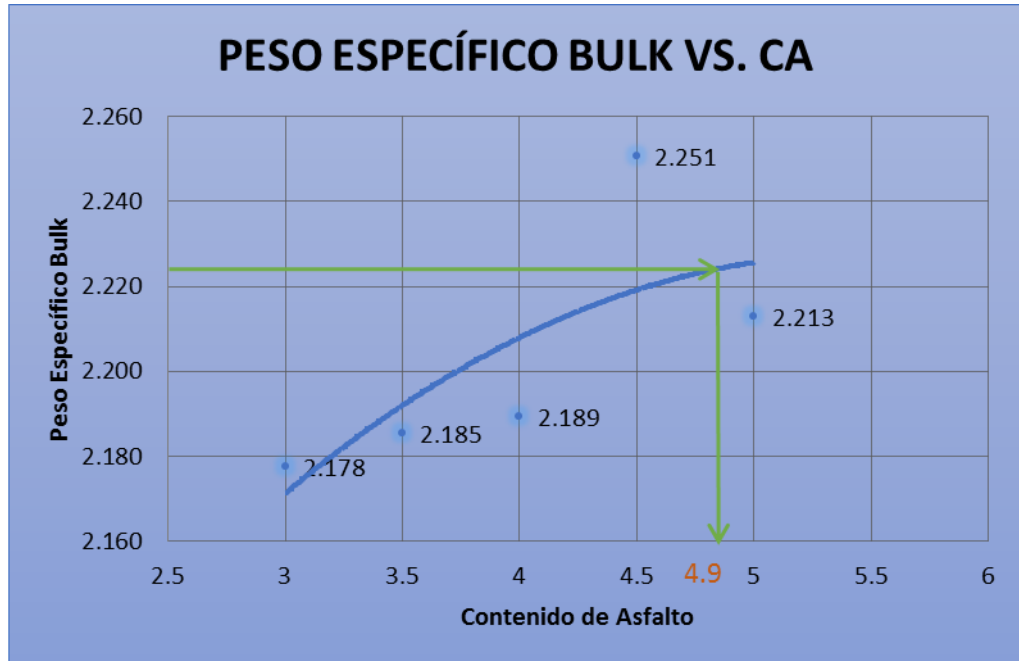
N° de Golpes: 75

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																										
MUESTRA N°	ASFALTO %	FIBRA ACERO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)				ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL				VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100				
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	GEOMÉTRICO	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	VACÍOS TOTALES	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA					
A	B	B1	C	D	E	F	G	G1	H	I	J	K	L	L1	M	N	O	P	Q	R	S	T				
1.1	3	1	7.34	1109.9	1138.4	632	2.192	1.865											1513	0.804	1216.45	12				
1.2			7	1056.9	1086.6	598.5	2.165	1.862												1405	0.858	1205.49	12			
1.3			7.29	1203.8	1239.6	686.5	2.176	2.037													1461	0.813	1187.79	11		
PROMEDIO							2.178	1.921	2.449	2.541	1.524	82.547	14.299	24.383	3.154	17.453	1.52	18.071			1203.25	12				
2.1	3.5	1	7.6	1078.4	1110.6	618.7	2.192	1.750												1835	0.763	1400.11	13			
2.2			7	1039.6	1073.3	596.5	2.180	1.832													1901	0.858	1631.06	11		
2.3			6.82	990.3	1021.8	568.4	2.184	1.791														1833	0.893	1636.87	11	
PROMEDIO							2.185	1.791	2.431	2.507	1.292	82.411	12.831	28.559	4.758	17.589	2.25	27.051			1556.01	12				
3.1	4	1	7.14	1049.4	1080.6	599.9	2.183	1.813													1958	0.832	1629.06	15		
3.2			7.36	1186.3	1219.8	680.5	2.200	1.988														1976	0.800	1580.80	13	
3.3			7.23	1056.6	1086.4	602.8	2.185	1.803														1935	0.820	1586.70	14	
PROMEDIO							2.189	1.868	2.414	2.470	0.978	82.134	11.363	24.379	6.503	17.866	3.06	36.399			1598.85	14				
4.1	4.5	1	6.4	962.4	996.8	563.5	2.221	1.855													1946	0.988	1922.65	14		
4.2			6.68	1049.8	1082.4	612.1	2.232	1.938														1975	0.928	1832.80	15	
4.3			5.54	985.2	1009.4	580.8	2.299	2.193															1862	1.259	2344.26	15
PROMEDIO							2.251	1.996	2.397	2.472	1.325	83.995	8.954	19.273	7.051	16.005	3.23	44.055			2033.24	15				
5.1	5	1	5.98	920.1	946.7	528.3	2.199	1.898														1892	1.109	2098.23	15	
5.2			7.48	1117.2	1148.8	644	2.213	1.842															1910	0.778	1485.98	15
5.3			6.6	964.3	988.4	555.3	2.227	1.802																1935	0.943	1824.71
PROMEDIO							2.213	1.847	2.380	2.449	1.246	82.157	9.637	24.565	8.206	17.843	3.82	45.99			1802.97	15				

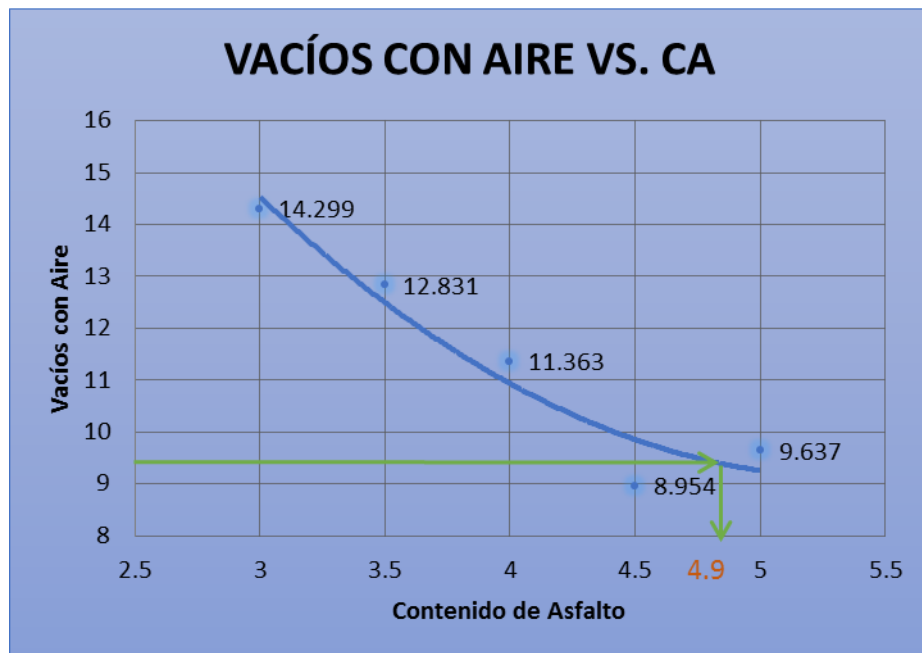
4.1.3.4.1 Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

Gráfico N° 8 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero)



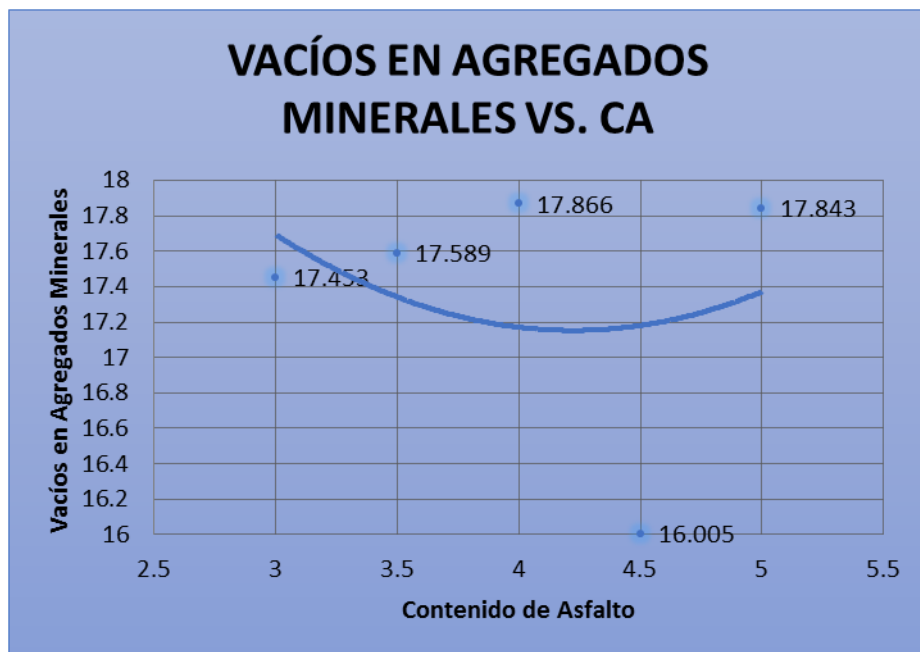
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 9 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero)



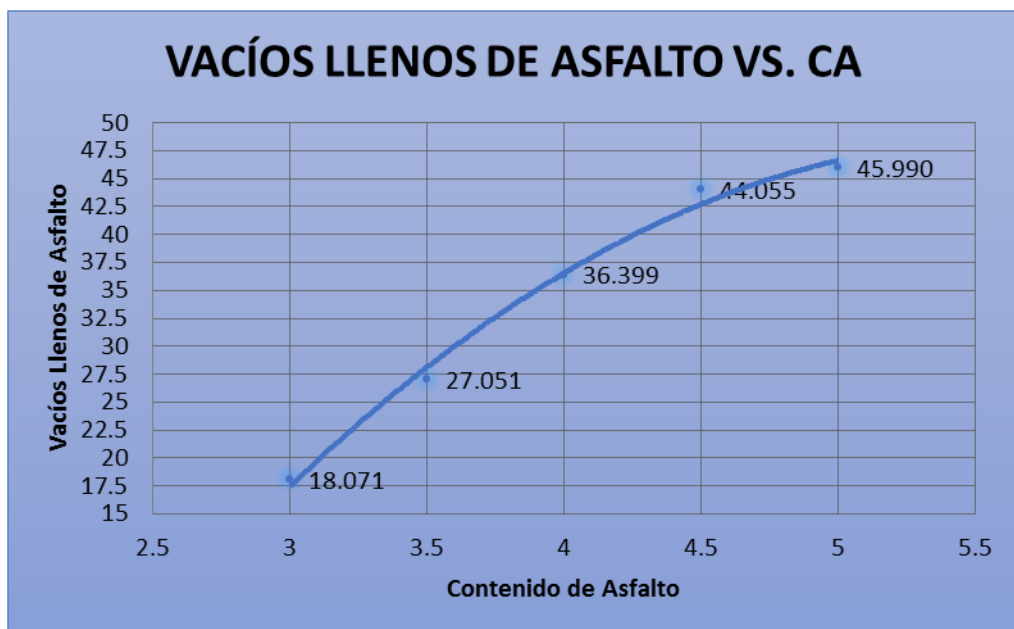
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 10 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto
(1% Fibra acero)



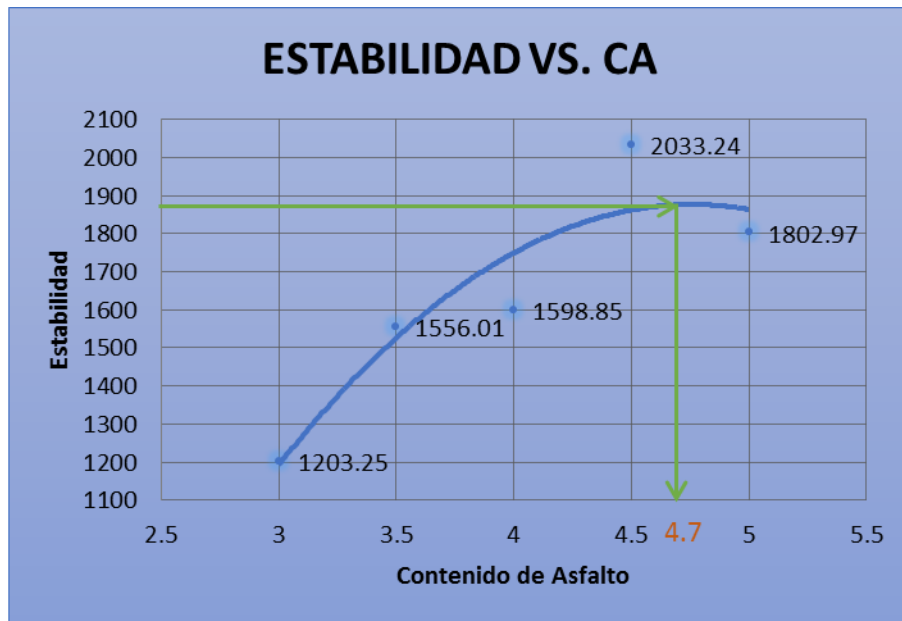
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 11 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero)



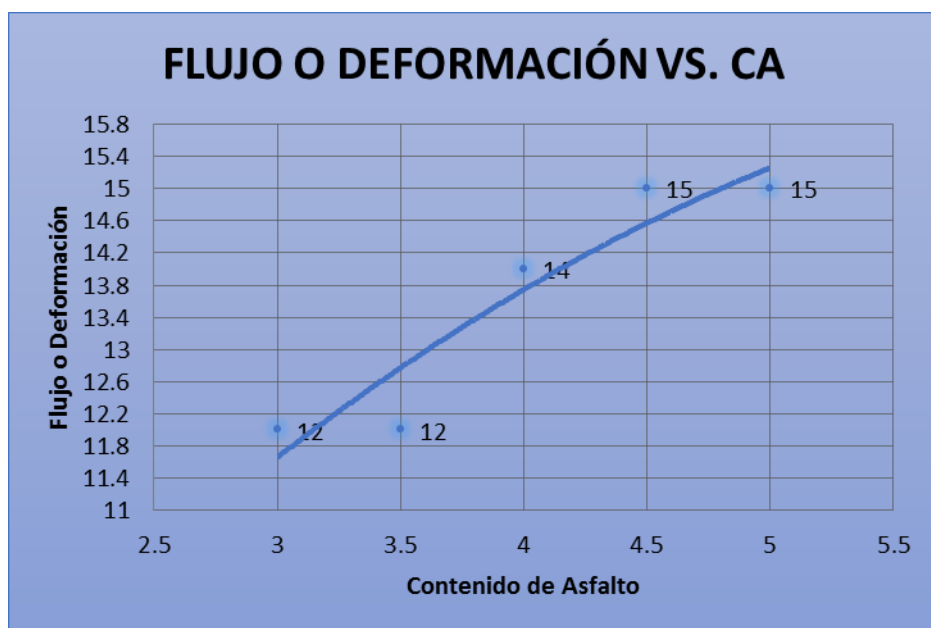
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 12 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 13 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (1% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.4.2 Determinación del contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

Para realizar esta determinación se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, el promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla N° 29 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero

Peso específico Bulk	4.9 %
Índice de vacíos	4.9 %
Estabilidad	4.7 %
Contenido óptimo de asfalto	4.8 %

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.5 Ensayo Rice a la mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

Tabla N° 30 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Lunes, 17 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4065.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1163.00
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8106.70
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.514

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 31 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Martes, 18 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4003.20
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1101.00
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8066.10
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.495

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 32 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Martes, 18 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4061.50
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1159.30
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8101.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.499

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 33 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Martes, 18 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3970.70
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1068.50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8037.80
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.445

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 34 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 1.5% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 20 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	1.5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3986.30
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1084.10
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8052.50
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.475

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.6 Ensayo Marshall a la mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

Tabla N° 35 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 1.5% de fibra de acero

Gagr: 2.559

Gasf: 1.0239

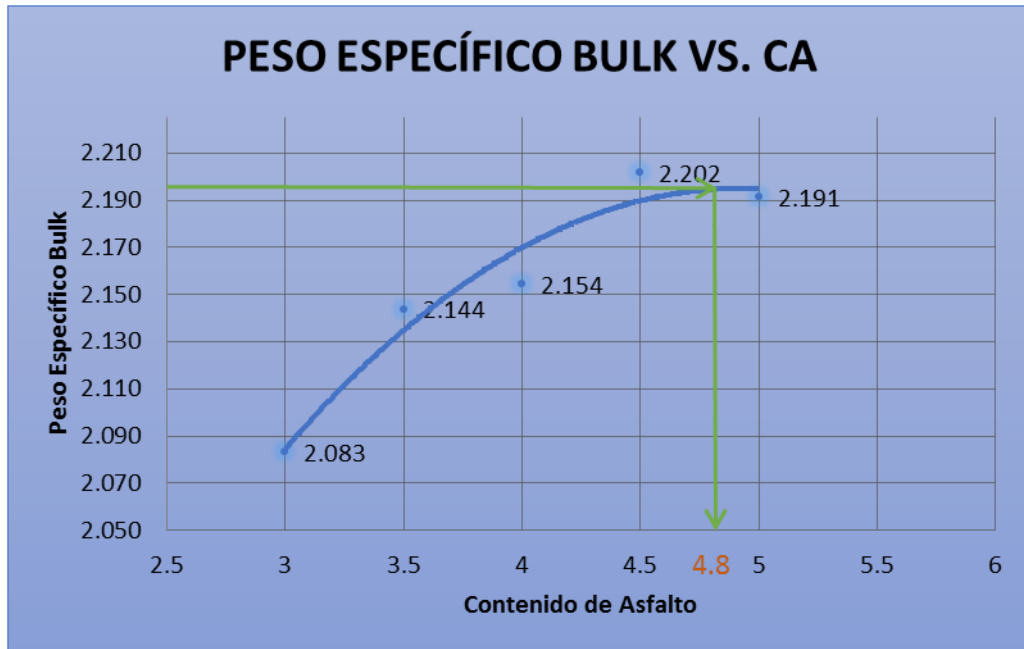
N° de Golpes: 75

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																							
MUESTRA N°	ASFALTO %	FIBRA ACERO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)				ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100		
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	GEOMÉTRICO	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	VACÍOS TOTALES				ASFALTO EFECTIVO	LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION		ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	B1	C	D	E	F	G	G1	H	I	J	K	L	L1	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1.1	3	1	7.34	1109.9	1138.4	632	2.192	1.865											1513	0.804	1216.45	12	
1.2			7	1056.9	1086.6	598.5	2.165	1.862												1405	0.858	1205.49	12
1.3			7.29	1203.8	1239.6	686.5	2.176	2.037													1461	0.813	1187.79
PROMEDIO							2.178	1.921	2.449	2.541	1.524	82.547	14.299	24.383	3.154	17.453	1.52	18.071			1203.25	12	
2.1	3.5	1	7.6	1078.4	1110.6	618.7	2.192	1.750											1835	0.763	1400.11	13	
2.2			7	1039.6	1073.3	596.5	2.180	1.832												1901	0.858	1631.06	11
2.3			6.82	990.3	1021.8	568.4	2.184	1.791													1833	0.893	1636.87
PROMEDIO							2.185	1.791	2.431	2.507	1.292	82.411	12.831	28.559	4.758	17.589	2.25	27.051			1556.01	12	
3.1	4	1	7.14	1049.4	1080.6	599.9	2.183	1.813											1958	0.832	1629.06	15	
3.2			7.36	1186.3	1219.8	680.5	2.200	1.988												1976	0.800	1580.80	13
3.3			7.23	1056.6	1086.4	602.8	2.185	1.803													1935	0.820	1586.70
PROMEDIO							2.189	1.868	2.414	2.470	0.978	82.134	11.363	24.379	6.503	17.866	3.06	36.399			1598.85	14	
4.1	4.5	1	6.4	962.4	996.8	563.5	2.221	1.855											1946	0.988	1922.65	14	
4.2			6.68	1049.8	1082.4	612.1	2.232	1.938												1975	0.928	1832.80	15
4.3			5.54	985.2	1009.4	580.8	2.299	2.193													1862	1.259	2344.26
PROMEDIO							2.251	1.996	2.397	2.472	1.325	83.995	8.954	19.273	7.051	16.005	3.23	44.055			2033.24	15	
5.1	5	1	5.98	920.1	946.7	528.3	2.199	1.898											1892	1.109	2098.23	15	
5.2			7.48	1117.2	1148.8	644	2.213	1.842												1910	0.778	1485.98	15
5.3			6.6	964.3	988.4	555.3	2.227	1.802													1935	0.943	1824.71
PROMEDIO							2.213	1.847	2.380	2.449	1.246	82.157	9.637	24.565	8.206	17.843	3.82	45.99			1802.97	15	

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

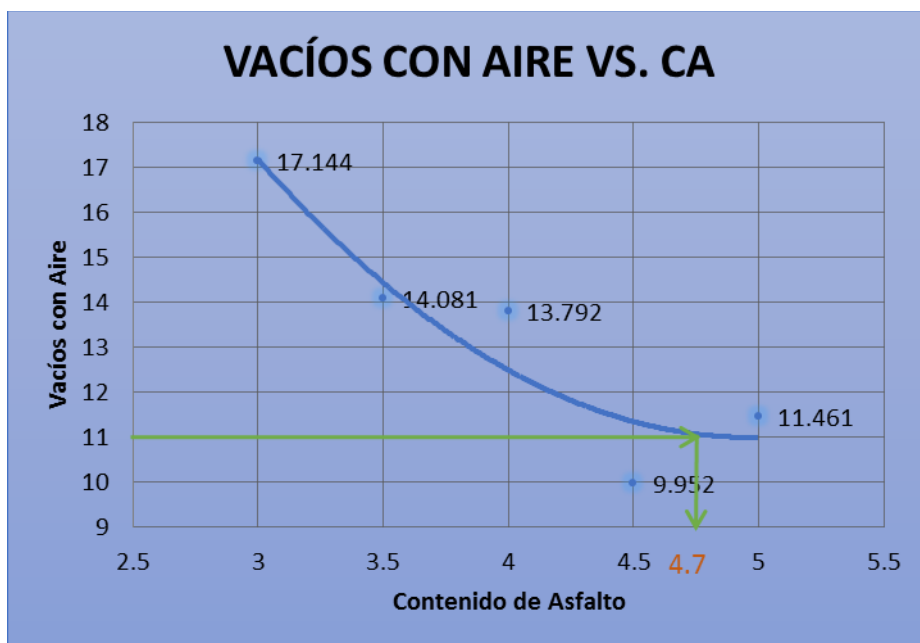
4.1.3.6.1 Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

Gráfico N° 14 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 15 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



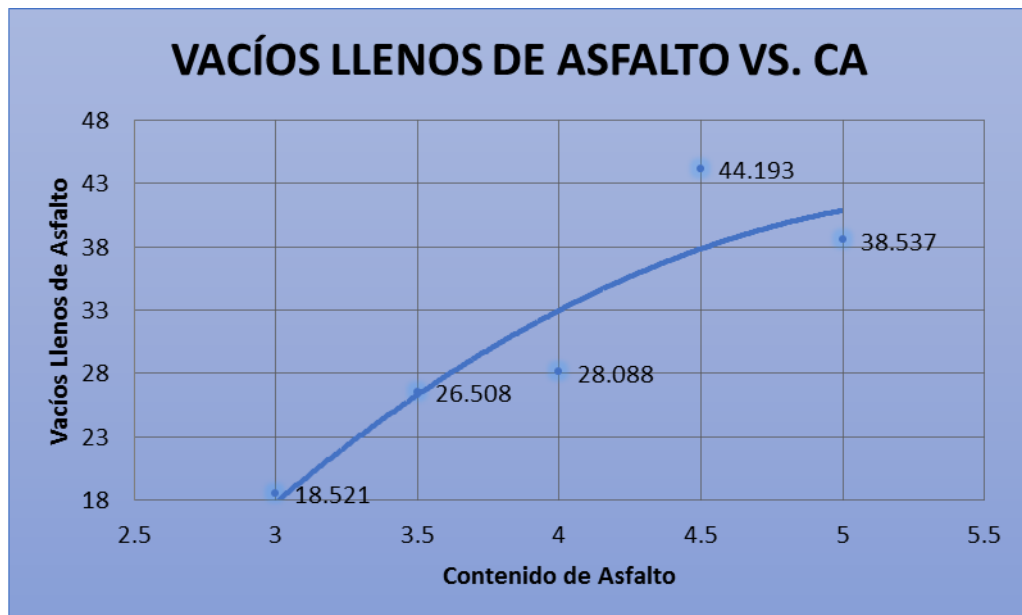
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 16 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



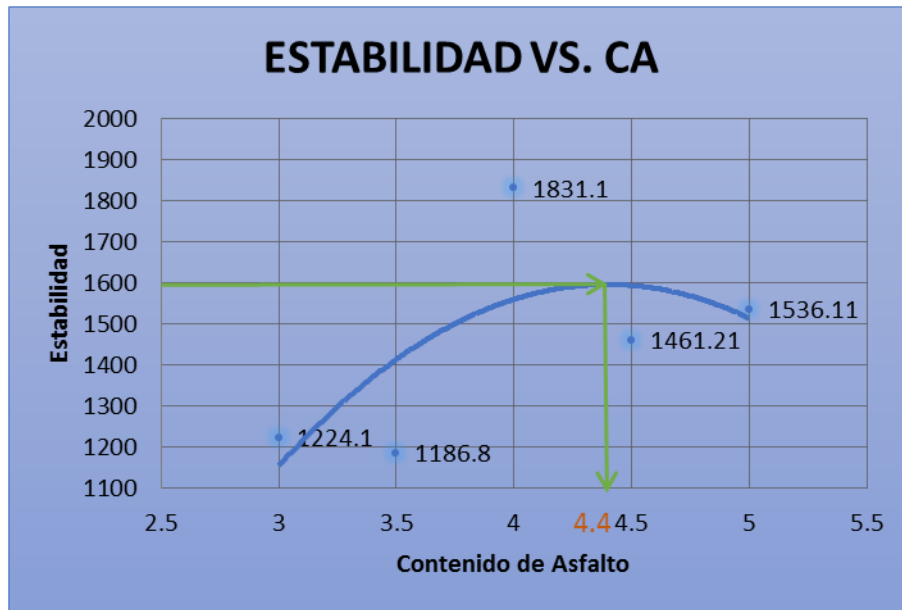
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 17 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



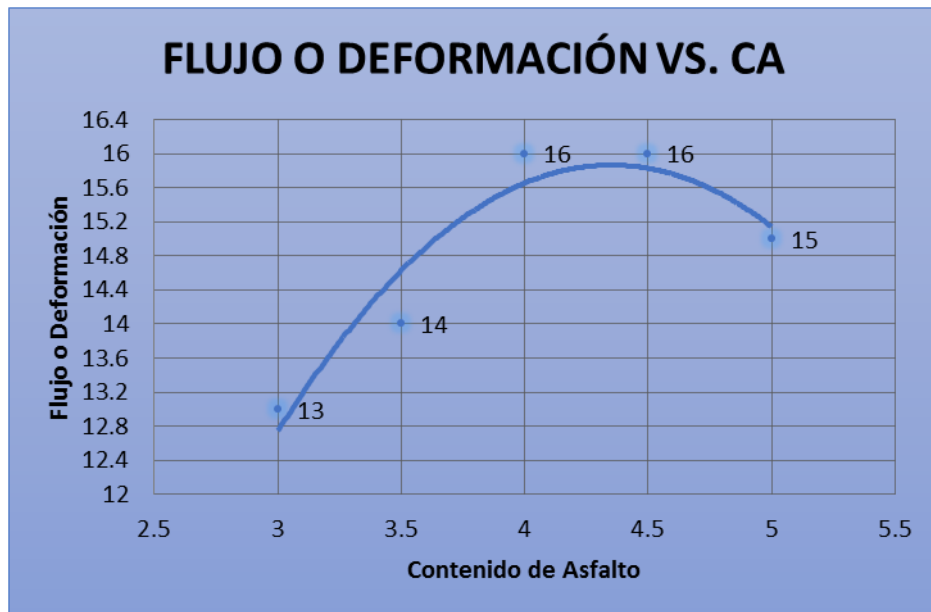
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 18 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 19 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (1.5% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.6.2 Determinación del contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

Para realizar esta determinación se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, el promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla N° 36 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 1.5% de fibra de acero

Peso específico Bulk	4.8 %
Índice de vacíos	4.7 %
Estabilidad	4.4 %
Contenido óptimo de asfalto	4.6 %

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.7 Ensayo Rice a la mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

Tabla N° 37 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3% de asfalto + 2% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 20 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4040.60
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1138.40
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8089.50
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.500

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 38 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 3.5% de asfalto + 2% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Jueves, 20 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	3.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4059.80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1157.60
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8098.40
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.486



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 39 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4% de asfalto + 2% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 21 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4.0%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3987.60
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1085.40
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8049.50
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.454


Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 40 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 4.5% de asfalto + 2% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 21 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	4.5%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	3961.10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1058.90
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8026.60
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.414

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Tabla N° 41 Ensayo Rice mezcla asfáltica con 5% de asfalto + 2% de fibra de acero

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO			
<i>"DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (Rice)"</i>			
ORIGEN:	JEAL Construcciones - Ambato		
ENSAYADO POR:	Karla Gabriela Capa Moya		
FECHA:	Viernes, 21 de Julio de 2017		
NORMA:	ASTM D 2041		
PORCENTAJE ASFALTO:	5.0%		
PORCENTAJE FIBRA ACERO:	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406.40
Peso Frasco	m2	gr	2902.20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4108.80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1206.60
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8112.20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2.409

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.8 Ensayo Marshall a la mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

Tabla N° 42 Ensayo Marshall a las briquetas asfálticas con 2% de fibra de acero

Gagr: 2.559

Gasf: 1.0239

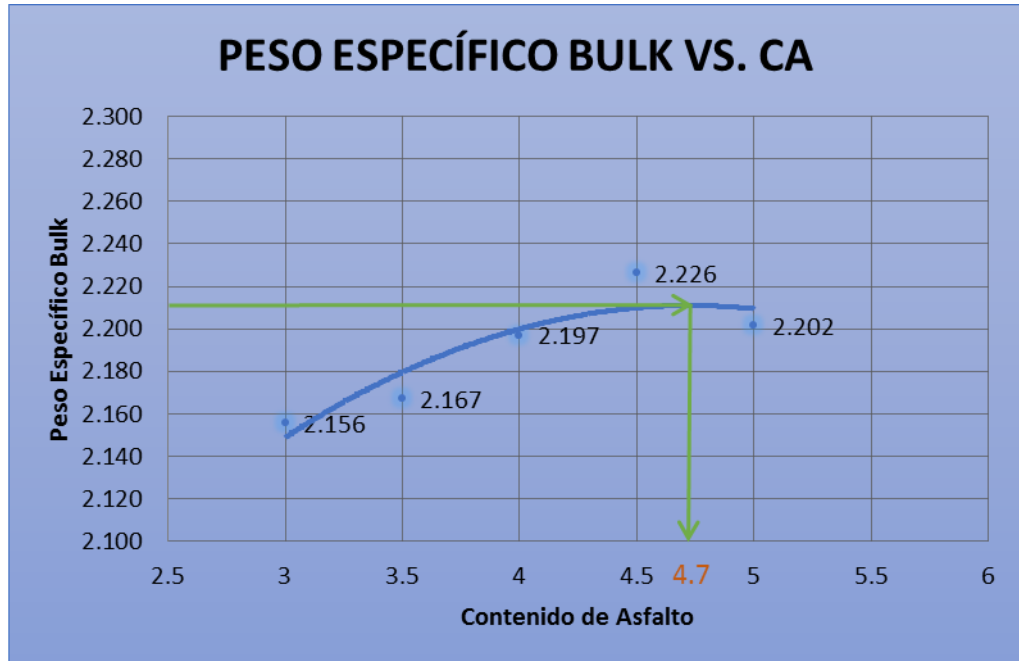
N° de Golpes: 75

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																							
MUESTRA N°	ASFALTO %	FIBRA ACERO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm3)				ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100		
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	GEOMÉTRICO	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	VACÍOS TOTALES				ASFALTO EFECTIVO	LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION		ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	B1	C	D	E	F	G	G1	H	I	J	K	L	L1	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1.1	3	2	6.92	936.7	971.5	527.1	2.108	1.670											1338	0.873	1168.07	12	
1.2			6.4	964.3	995.1	549.8	2.166	1.858											1296	0.988	1280.45	13	
1.3			7	980.4	1014.5	567.4	2.193	1.728												1208	0.858	1036.46	13
PROMEDIO							2.156	1.752	2.449	2.500	0.859	81.713	13.773	29.925	4.514	18.287	2.17	24.684			1161.66	13	
2.1	3.5	2	7.23	947.3	978.7	537.6	2.148	1.616											1022	0.82	838.0	16	
2.2			6.74	1010.7	1047.9	579	2.155	1.850												1115	0.913	1018.0	12
2.3			6.7	949.7	980	547.9	2.198	1.748												1063	0.923	981.1	15
PROMEDIO							2.167	1.738	2.431	2.486	0.943	81.72	12.832	30.087	5.448	18.28	2.59	29.803			945.73	14	
3.1	4	2	6.52	978.1	1010.1	568.7	2.216	1.850											1836	0.958	1758.89	17	
3.2			6.86	999.2	1030.1	575	2.196	1.797												1933	0.884	1708.77	16
3.3			6.67	902.2	929.8	515.7	2.179	1.668												2030	0.930	1887.90	18
PROMEDIO							2.197	1.772	2.414	2.454	0.703	82.422	10.473	27.8	7.105	17.578	3.33	40.42			1785.19	17	
4.1	4.5	2	6.72	935.8	965.1	547.9	2.243	1.718											1757	0.918	1507.51	18	
4.2			6.87	946.3	978.1	552.2	2.222	1.699												1816	0.883	1625.32	16
4.3			6.44	900.6	934.7	527.9	2.214	1.725												1793	0.978	1640.60	19
PROMEDIO							2.226	1.714	2.397	2.414	0.308	83.087	7.774	29.003	9.139	16.913	4.21	54.035			1591.14	18	
5.1	5	2	7	960.1	990.2	556.7	2.215	1.69177											1080	0.858	991.44	19	
5.2			6.81	1003.5	1035.3	574.1	2.176	1.81757												1167	0.895	1030.46	17
5.3			6.73	911	938.8	527.3	2.214	1.66965												1345	0.915	1315.41	18
PROMEDIO							2.202	1.726	2.380	2.409	0.532	81.736	8.607	28.338	9.657	18.264	4.49	52.875			1112.44	18	

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

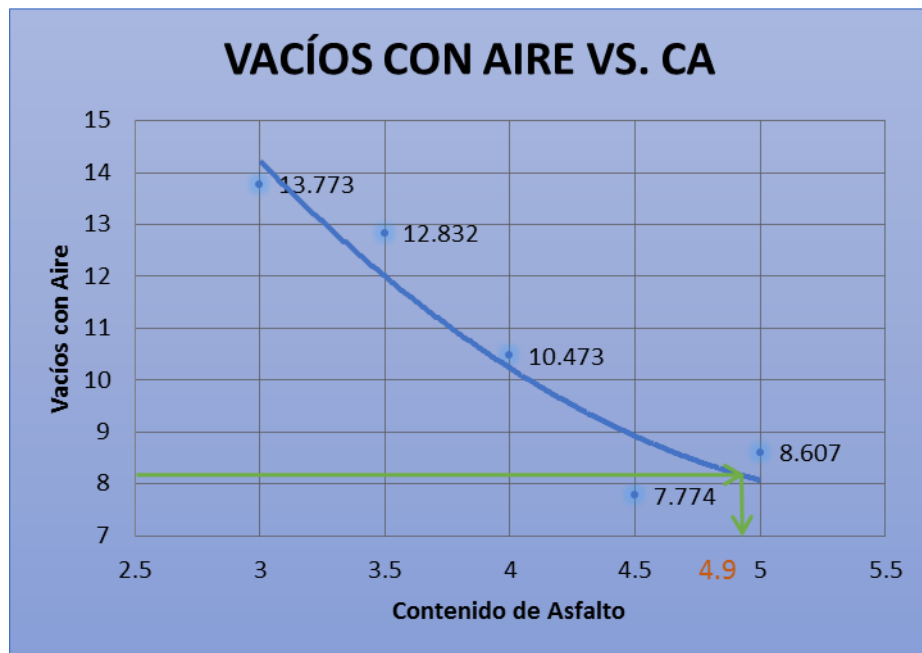
4.1.3.8.1 Curvas de diseño Marshall mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

Gráfico N° 20 Densidad bulk Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero)



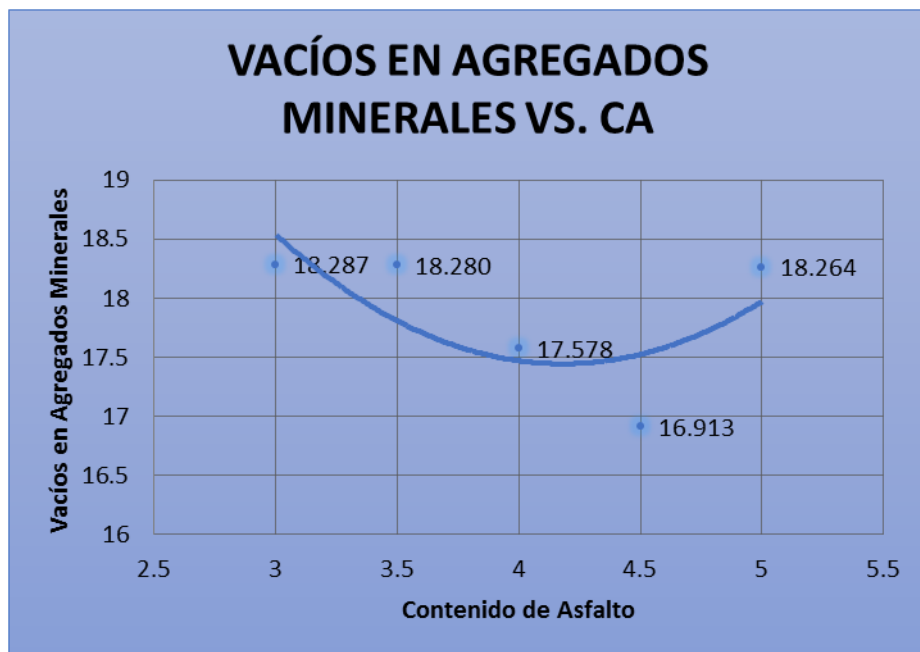
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 21 Porcentaje Vacíos con aire Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 22 Porcentaje Vacíos en agregados minerales Vs porcentaje de asfalto
(2% Fibra acero)



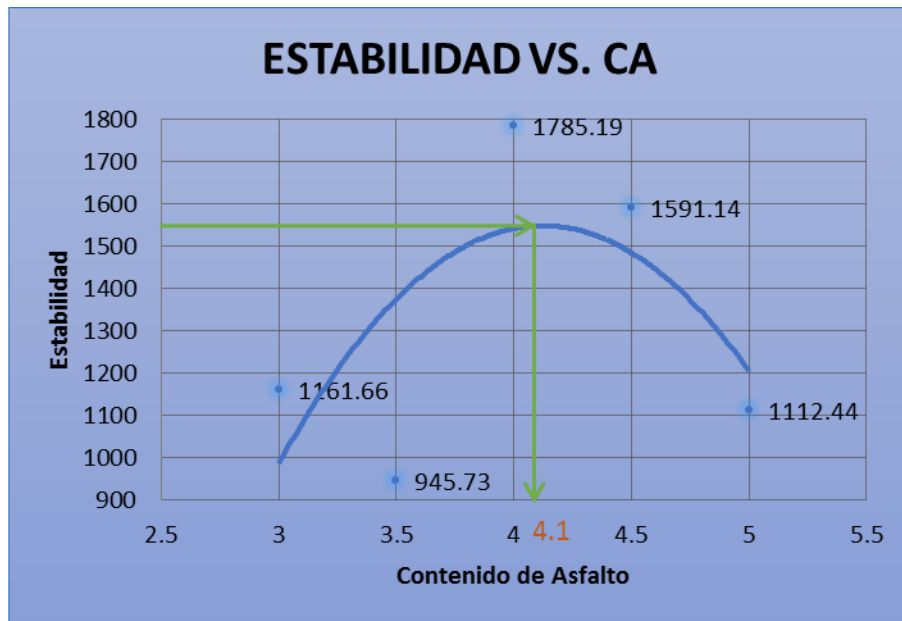
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 23 Porcentaje Vacíos llenos de asfalto Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero)



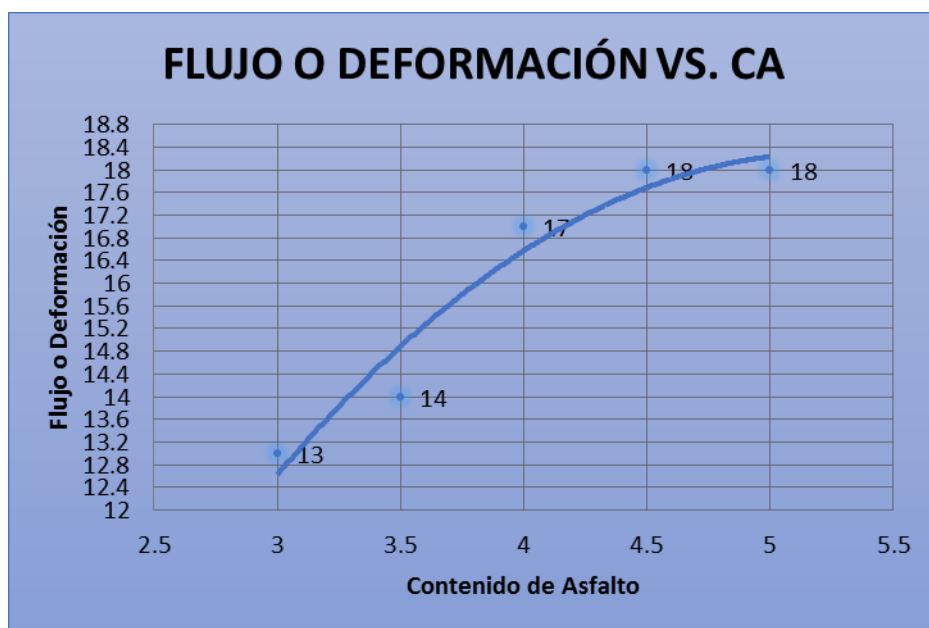
Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 24 Estabilidad Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 25 Flujo o deformación Vs porcentaje de asfalto (2% Fibra acero)



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.1.3.8.2 Determinación del contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

Para realizar esta determinación se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, el promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

Tabla N° 43 Contenido óptimo de asfalto mezcla asfáltica con 2% de fibra de acero

Peso específico Bulk	4.7 %
Índice de vacíos	4.9 %
Estabilidad	4.1 %
Contenido óptimo de asfalto	4.6 %

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- **Ensayo granulométrico**

Una vez realizado el ensayo se determinó que los agregados se encuentran dentro de los límites y cumple con lo especificado en la sección 811-4.9 (NEVI-12) para mezclas asfálticas y teniendo un TNM de 1/2”.

- **Resistencia al desgaste por abrasión**

En el ensayo de desgaste realizado al agregado grueso se obtuvo un resultado de 29.16 %, cumpliendo con lo requerido por la Norma INEN 860 que debe ser ≤ 40 %.

- **Ensayo Marshall**

Los resultados de este ensayo están expuestos mediante tablas y gráficas para conocer las características de los diferentes tipos de muestra de mezclas asfálticas que han sido analizadas en esta investigación.

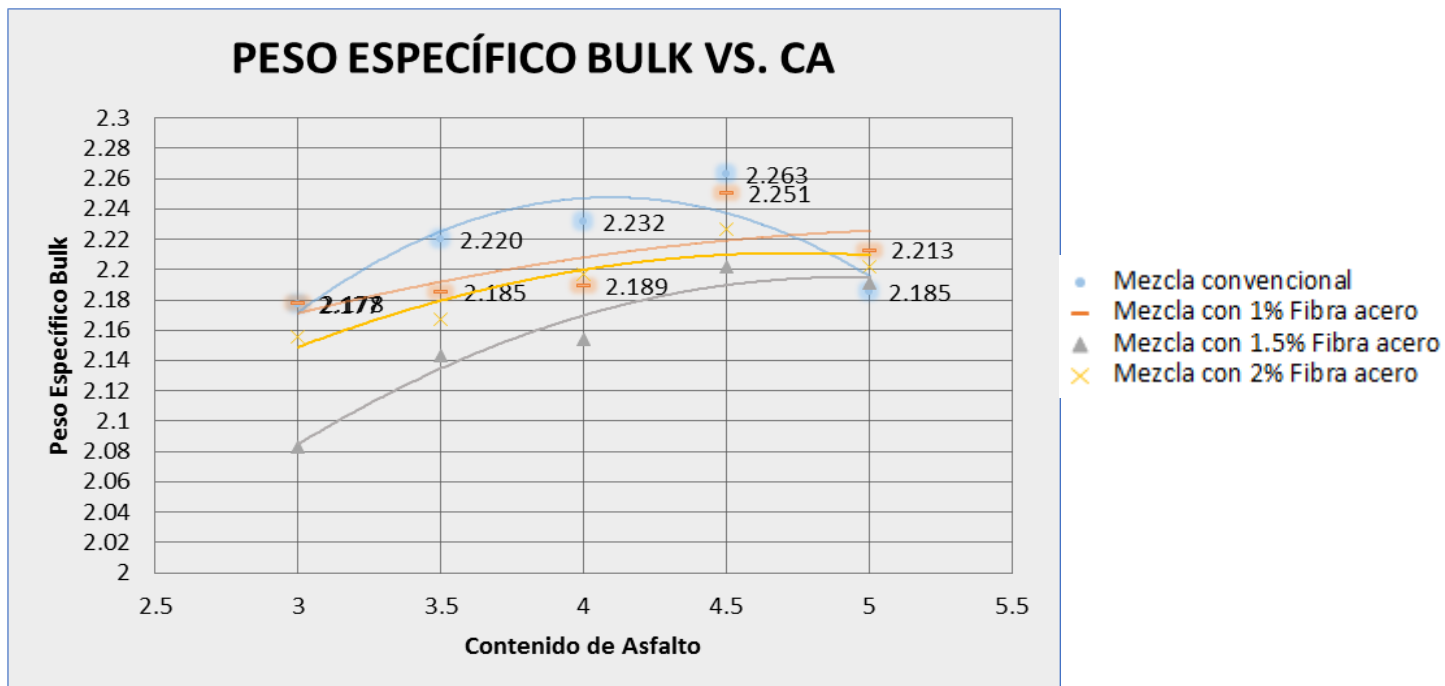
Peso específico bulk

Tabla N° 44 Comparación Densidad Bulk de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero

DENSIDAD BULK DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y ADICIONADA CON FIBRA DE ACERO				
ASFALTO/FIBRA ACERO	0	1%	1.5%	2%
3%	2.177 gr/cm ³	2.178 gr/cm ³	2.083 gr/cm ³	2.156 gr/cm ³
3.5%	2.220 gr/cm ³	2.185 gr/cm ³	2.144 gr/cm ³	2.167 gr/cm ³
4%	2.232 gr/cm ³	2.189 gr/cm ³	2.154 gr/cm ³	2.197 gr/cm ³
4.5%	2.263 gr/cm ³	2.251 gr/cm ³	2.202 gr/cm ³	2.226 gr/cm ³
5%	2.185 gr/cm ³	2.213 gr/cm ³	2.191 gr/cm ³	2.202 gr/cm ³

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 26 Comparación Densidad Bulk de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

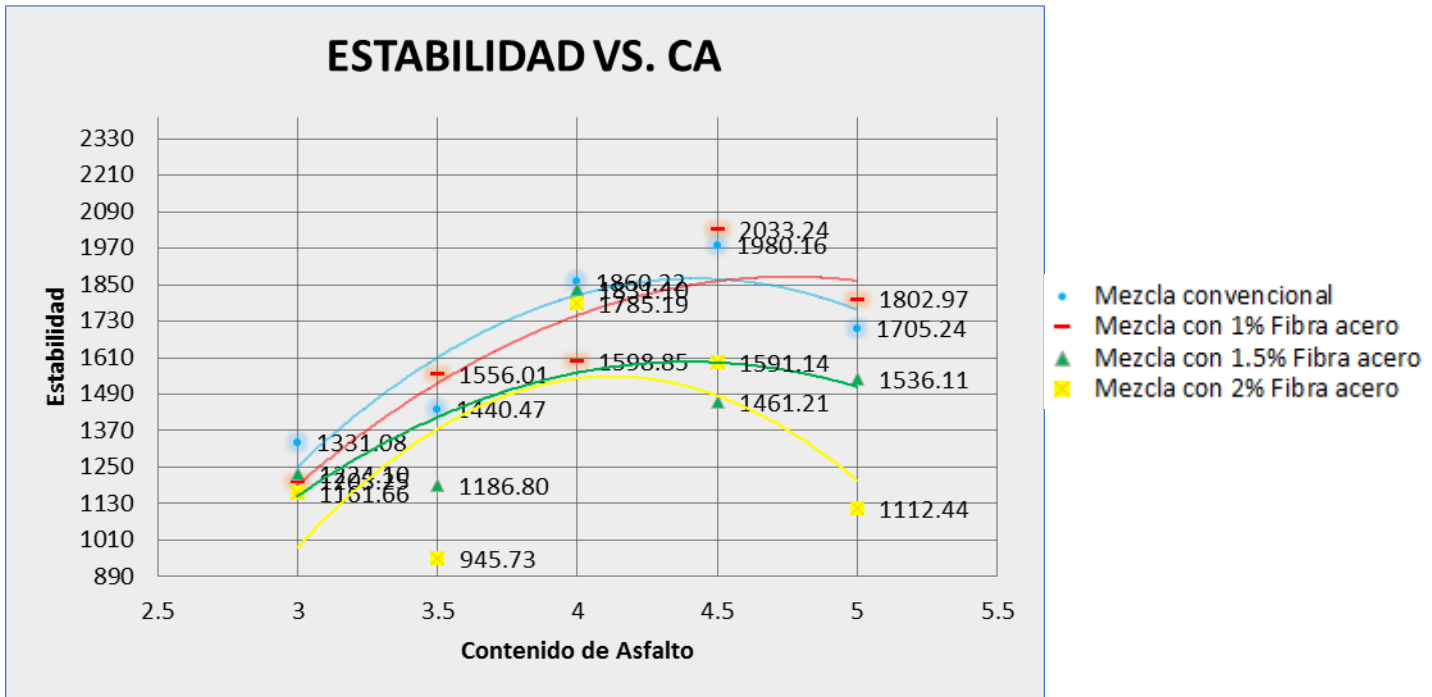
Estabilidad

Tabla N° 45 Comparación Estabilidad de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero

ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y ADICIONADA CON FIBRA DE ACERO				
ASFALTO/FIBRA ACERO	0	1%	1.5%	2%
3%	1331.08 lb	1203.25 lb	1224.10 lb	1161.66 lb
3.5%	1440.47 lb	1556.01 lb	1186.80 lb	945.73 lb
4%	1860.22 lb	1598.85 lb	1831.10 lb	1785.19 lb
4.5%	1980.16 lb	2033.24 lb	1461.21 lb	1591.14 lb
5%	1705.24 lb	1802.97 lb	1536.11 lb	1112.44 lb

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 27 Comparación Estabilidad de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

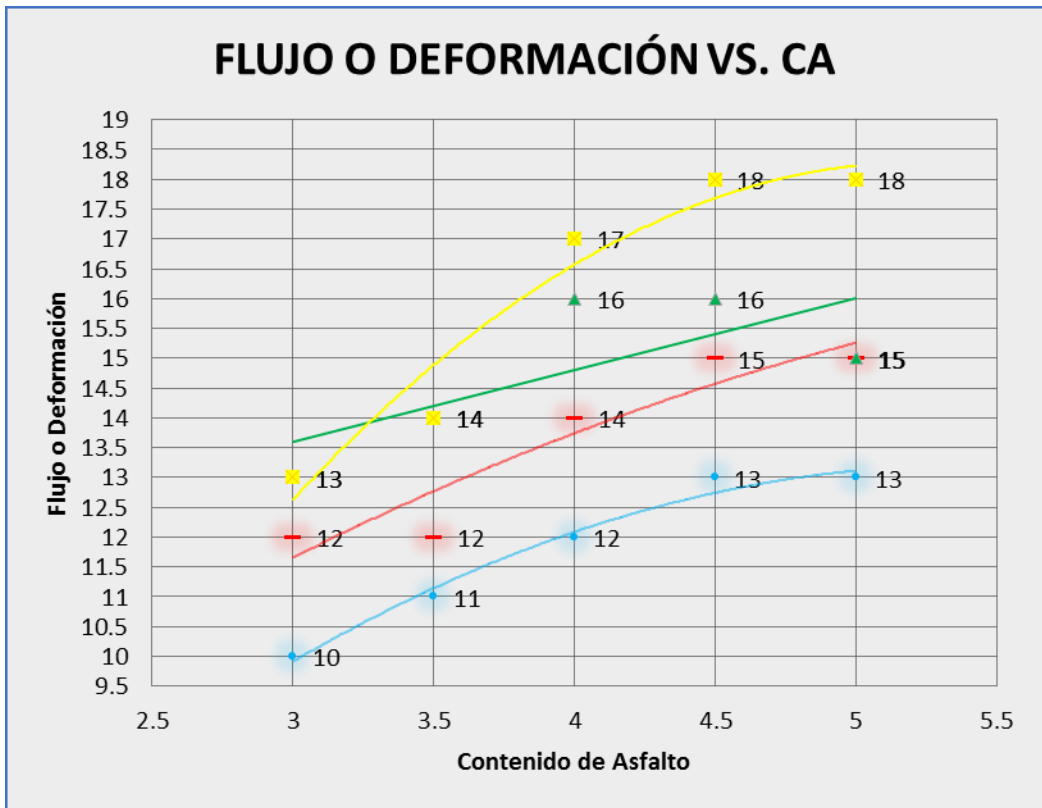
Flujo

Tabla N° 46 Comparación Flujo de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero

FLUJO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y ADICIONADA CON FIBRA DE ACERO				
ASFALTO/FIBRA ACERO	0	1%	1.5%	2%
3%	10 (1/100")	12 (1/100")	13 (1/100")	13 (1/100")
3.5%	11 (1/100")	12 (1/100")	14 (1/100")	14 (1/100")
4%	12 (1/100")	14 (1/100")	16 (1/100")	17 (1/100")
4.5%	13 (1/100")	15 (1/100")	16 (1/100")	18 (1/100")
5%	13 (1/100")	15 (1/100")	15 (1/100")	18 (1/100")

Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

Gráfico N° 28 Comparación Flujo de mezcla asfáltica convencional y adicionada con fibra de acero



Fuente: Karla Gabriela Capa Moya

INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS

Peso específico bulk

En el gráfico N° 26 se puede observar las curvas de la densidad bulk Vs contenido de asfalto de las mezclas asfálticas convencional y adicionada con fibra de acero en 1%, 1.5% y 2% en el cual se aprecia que los valores de densidad bulk de la mezcla convencional son mayores a los valores que se obtienen de las mezclas asfálticas adicionadas con fibra de acero.

Estabilidad

En el gráfico N° 27 se muestra los valores de estabilidad alcanzado por las mezclas asfálticas convencionales y con adición de fibra de acero, la estabilidad de la mezcla asfáltica con 1% de fibra de acero es mayor a la de la mezcla convencional, mientras que las que contienen 1.5% y 2% de fibra presentan menor estabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de fibra.

Flujo

En el gráfico N° 28 de Flujo Vs contenido de asfalto se puede observar que a medida que se va incrementando el porcentaje de fibra de acero también aumentan los valores de flujo en estas mezclas, mientras que la mezcla convencional tiene valores más bajos de flujo y se incrementa al aumentar el porcentaje de asfalto en la mezcla.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez realizados los ensayos tanto a los agregados como a las probetas de las mezclas asfálticas y analizados los resultados de dichos ensayos se comprueba que la estabilidad de las mezclas asfálticas con adición de fibra de acero de 1% supera a la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y los valores de flujo son similares.

De manera contraria, al incrementar el porcentaje de fibra de acero en la mezcla asfáltica la estabilidad empezó a disminuir y los valores de flujo a aumentarse.

Entonces, se verificó la hipótesis planteada ya que se comprobó que la adición de fibra de acero en la mezcla asfáltica permite mejorar sus propiedades mecánicas. En este caso se determinó que la mezcla presenta un mejor comportamiento con la dosificación de 4.8% de cemento asfáltico y 1% de fibra de acero.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los ensayos realizados a los agregados gruesos y finos demostraron que son de buena calidad y por lo tanto aptos para la realización de mezclas asfálticas al cumplir con las especificaciones y normas correspondientes de cada ensayo realizados en esta investigación.
- Al tratarse de una mezcla asfáltica abierta o porosa se utilizó una granulometría que consiste en un 85% de agregado grueso y 15% de agregado fino por lo que es necesario menor contenido de asfalto que las mezclas densas.
- Analizados los resultados de los ensayos realizados a las mezclas asfálticas tanto convencionales como con adición de fibra de acero se determinó que para la mezcla asfáltica convencional la dosificación que presenta mejor comportamiento es de 4.3% de cemento asfáltico.
- De las briquetas elaboradas con porcentaje de cemento asfáltico de 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5% y adición de fibra de 1% se concluyó que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es de 4.8%.
- La fibra de acero en porcentaje del 1% fue la que mejor comportamiento de la mezcla asfáltica presentó como son buena estabilidad y flujo.
- Se determinó que no es favorable la utilización de fibra de acero en porcentajes mayores al 1% ya que al incrementarse la estabilidad tiende a disminuir y los valores de flujo a aumentarse.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar los ensayos a los agregados a ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas para conocer su calidad y propiedades y comprobar si cumplen con los requerimientos necesarios para su empleo.
- En la elaboración de las briquetas controlar las temperaturas especificadas tanto en el calentamiento de los agregados como la mezcla de los mismos y en la compactación.
- Compactar las briquetas con el número de golpes requerido según las especificaciones del tipo de tráfico, con los equipos y según el procedimiento descrito del Ensayo Marshall.
- Es recomendable realizar más ensayos con diferentes contenidos de fibra de acero que los utilizados en esta investigación para evaluar si se consiguen mejores resultados que con los porcentajes ensayados.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] M. E. Ayala, I. E. Juárez, “Diseño de mezcla drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador”, Trabajo de grado Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, El Salvador, 2010.

[2] J. A. Campos, “Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales”, Memoria de grado Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Chile, 2008.

[3] N. Palou. “El asfalto que se autorrepara aplicando calor con una corriente eléctrica”. Internet:
https://elpais.com/tecnologia/2017/05/12/actualidad/1494582412_059275.html, May. 22, 2017 [Junio 5, 2017]

[4] C. Kraemer, J. Pardillo, S. Rocci, M. Romana, V. Sánchez, M. del Val, “Ingeniería de Carreteras”, España: McGraw-Hill, 2004.

[5] E. Recuenco Aguado, “FIRMES Y PAVIMENTOS DE CARRETERAS Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS”, España: Garceta, 2014.

[6] F. Reyes Lizcano, “Diseño racional de pavimentos”, Colombia: CEJA, 2003

[7] H. Rondón Quintana, F. Reyes Lizcano, “Pavimentos: materiales, construcción y diseño”, Colombia: Ecoe Ediciones, 2015.

[8] W. P. Chimborazo, “Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método SUPERPAVE”, Monografía de titulación Ingeniero Civil, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2012.

[9] NORMA INEN 696. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso.

[10] NORMA INEN 856. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

[11] NORMA INEN 857. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.

[12] “Fibra sintética” Internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_sint%C3%A9tica [Junio 7, 2017]

[13] Tecnología de los plásticos. “Fibra de vidrio”. Internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html> [Junio 7, 2017]

[14] Ingeniero Civil. “Diseño de mezclas asfálticas”. Internet: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2012/04/disenio-de-mezclas-asfalticas-metodo.html> [Junio 9, 2017]

[15] F. Moreira. “Diseño de Mezclas Bituminosas”. Pavimentos. Ambato, Ecuador, 2015, p. 1. [Junio 9, 2017]

[16] NORMA INV E-748-07 Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.

[17] NORMA INEN 860. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de Los Ángeles.

[18] NORMA ASTM D 2041. Método estándar de prueba para Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.

2. ANEXOS

2.1 TABLAS ENSAYO MARSHALL

Tabla N° 47 Factor de corrección estabilidad Marshall

ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR
31,5	3.902	36,5	3.030	41,5	2.246
31,6	3.884	36,6	3.014	41,6	2.234
31,7	3.867	36,7	2.999	41,7	2.223
31,8	3.850	36,8	2.983	41,8	2.211
31,9	3.833	36,9	2.968	41,9	2.199
32,0	3.815	37,0	2.952	42,0	2.187
32,1	3.798	37,1	2.936	42,1	2.175
32,2	3.780	37,2	2.921	42,2	2.163
32,3	3.763	37,3	2.905	42,3	2.151
32,4	3.745	37,4	2.889	42,4	2.139
32,5	3.728	37,5	2.874	42,5	2.128
32,6	3.710	37,6	2.858	42,6	2.116
32,7	3.693	37,7	2.843	42,7	2.104
32,8	3.675	37,8	2.827	42,8	2.092
32,9	3.658	37,9	2.811	42,9	2.080
33,0	3.640	38,0	2.796	43,0	2.070
33,1	3.623	38,1	2.780	43,1	2.060
33,2	3.605	38,2	2.763	43,2	2.050
33,3	3.588	38,3	2.745	43,3	2.040
33,4	3.570	38,4	2.728	43,4	2.030
33,5	3.554	38,5	2.710	43,5	2.020
33,6	3.538	38,6	2.693	43,6	2.010
33,7	3.522	38,7	2.675	43,7	2.000
33,8	3.506	38,8	2.658	43,8	1.990
33,9	3.490	38,9	2.640	43,9	1.980
34,0	3.474	39,0	2.623	44,0	1.970
34,1	3.458	39,1	2.605	44,1	1.960
34,2	3.442	39,2	2.588	44,2	1.950
34,3	3.426	39,3	2.570	44,3	1.940
34,4	3.410	39,4	2.553	44,4	1.930
34,5	3.394	39,5	2.535	44,5	1.920
34,6	3.378	39,6	2.517	44,6	1.912
34,7	3.362	39,7	2.500	44,7	1.904
34,8	3.346	39,8	2.486	44,8	1.896
34,9	3.330	39,9	2.471	44,9	1.888
35,0	3.311	40,0	2.457	45,0	1.879
35,1	3.293	40,1	2.443	45,1	1.871
35,2	3.274	40,2	2.428	45,2	1.863
35,3	3.255	40,3	2.414	45,3	1.855
35,4	3.236	40,4	2.399	45,4	1.847
35,5	3.218	40,5	2.385	45,5	1.839
35,6	3.199	40,6	2.371	45,6	1.831
35,7	3.180	40,7	2.356	45,7	1.823
35,8	3.161	40,8	2.342	45,8	1.814
35,9	3.143	40,9	2.328	45,9	1.806
36,0	3.124	41,0	2.313	46,0	1.798
36,1	3.105	41,1	2.299	46,1	1.790
36,2	3.086	41,2	2.284	46,2	1.782
36,3	3.068	41,3	2.270	46,3	1.774
36,4	3.049	41,4	2.258	46,4	1.766

ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR
46,5	1.758	51,5	1.435	56,5	1.216
46,6	1.750	51,6	1.430	56,6	1.213
46,7	1.742	51,7	1.425	56,7	1.209
46,8	1.734	51,8	1.420	56,8	1.205
46,9	1.726	51,9	1.415	56,9	1.201
47,0	1.718	52,0	1.410	57,0	1.198
47,1	1.710	52,1	1.405	57,1	1.194
47,2	1.702	52,2	1.400	57,2	1.190
47,3	1.694	52,3	1.395	57,3	1.187
47,4	1.686	52,4	1.390	57,4	1.184
47,5	1.678	52,5	1.386	57,5	1.181
47,6	1.670	52,6	1.381	57,6	1.178
47,7	1.663	52,7	1.377	57,7	1.174
47,8	1.656	52,8	1.373	57,8	1.171
47,9	1.649	52,9	1.368	57,9	1.168
48,0	1.643	53,0	1.364	58,0	1.165
48,1	1.636	53,1	1.359	58,1	1.162
48,2	1.629	53,2	1.355	58,2	1.159
48,3	1.622	53,3	1.351	58,3	1.156
48,4	1.615	53,4	1.346	58,4	1.153
48,5	1.608	53,5	1.342	58,5	1.149
48,6	1.601	53,6	1.338	58,6	1.146
48,7	1.594	53,7	1.333	58,7	1.143
48,8	1.588	53,8	1.329	58,8	1.140
48,9	1.581	53,9	1.324	58,9	1.137
49,0	1.574	54,0	1.320	59,0	1.134
49,1	1.567	54,1	1.316	59,1	1.131
49,2	1.560	54,2	1.311	59,2	1.128
49,3	1.554	54,3	1.307	59,3	1.124
49,4	1.549	54,4	1.303	59,4	1.121
49,5	1.543	54,5	1.298	59,5	1.118
49,6	1.538	54,6	1.294	59,6	1.115
49,7	1.532	54,7	1.289	59,7	1.112
49,8	1.526	54,8	1.285	59,8	1.109
49,9	1.521	54,9	1.281	59,9	1.106
50,0	1.515	55,0	1.276	60,0	1.103
50,1	1.509	55,1	1.272	60,1	1.099
50,2	1.504	55,2	1.268	60,2	1.096
50,3	1.498	55,3	1.263	60,3	1.093
50,4	1.493	55,4	1.259	60,4	1.090
50,5	1.487	55,5	1.254	60,5	1.087
50,6	1.481	55,6	1.250	60,6	1.084
50,7	1.476	55,7	1.246	60,7	1.081
50,8	1.470	55,8	1.243	60,8	1.078
50,9	1.465	55,9	1.239	60,9	1.074
51,0	1.460	56,0	1.235	61,0	1.071
51,1	1.455	56,1	1.231	61,1	1.068
51,2	1.450	56,2	1.228	61,2	1.065
51,3	1.445	56,3	1.224	61,3	1.062
51,4	1.440	56,4	1.220	61,4	1.059

ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR	ESPESOR (mm)	FACTOR
61,5	1,056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1,053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1,049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1,046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1,043	66,8	0,928	71,7	0,828
62,0	1,040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1,037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1,035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1,032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1,029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1,027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1,024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1,021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1,019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1,016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1,013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1,011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1,008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1,005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1,003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1,000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,1	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761



Fuente: Norma INV E-748-07

2.1 ANEXO FOTOGRÁFICO

2.2.1 Análisis granulométrico de los agregados

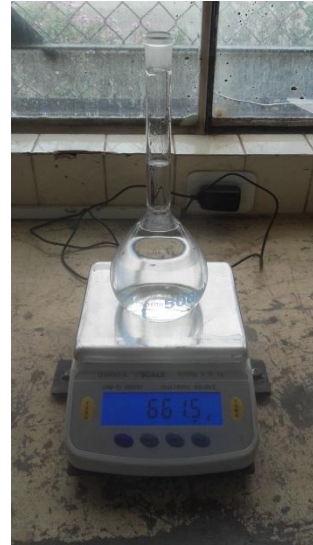
	
Juego de tamices cuadrados	Juego de tamices redondos

2.2.2 Densidad relativa de los agregados

	
Peso picnómetro	Peso picnómetro+ agua+ agregado SSS



Sacando las burbujas de aire





Peso picnómetro+ 500 cc de agua




Peso canastilla en aire



Peso canastilla en agua

	
<p>Peso canastilla + agregado SSS en aire</p>	<p>Peso canastilla + agregado SSS en agua</p>

2.2.3 Desgaste por abrasión del agregado grueso

	
<p>Ensayo en la máquina de los Ángeles</p>	<p>Muestra después del ensayo</p>

2.2.4 Elaboración de las briquetas



Calentamiento de los agregados



Mezclado de los agregados y asfalto



Control de temperatura



Extracción de briquetas



Briquetas sin fibra de acero



Briquetas con 1% de fibra de acero




Briquetas con 1.5% de fibra de acero



Briquetas con 2% de fibra de acero

2.2.5 Ensayo Rice

	
<p>Muestra suelta</p>	<p>Peso recipiente vacío</p>


<p>Extracción de vacíos</p>

2.2.6 Ensayo Marshall



Briquetas en baño María a 60 °C



Briqueta ensayada en Máquina Marshall