



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN
DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y
PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”**

AUTOR:

CRISTIAN ELÍAS JIMÉNEZ ROJANO

TUTOR:

ING. Mg. FRICSON MOREIRA

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo Ing. Mg. Fricson Moreira, certifico que el presente Informe Final del Trabajo Experimental realizado por el señor Cristian Elías Jiménez Rojano, egresado 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 Ingeniero Civil, personal e inédito y ha sido concluido bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ing. Mg. Fricson Moreira
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Yo, Cristian Elías Jiménez Rojano, con CI. 180450746-3 egresado 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 tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”** es de mi completa autoría así como las ideas y resultados expuestas a excepción de las citas bibliográficas.

Cristian Elías Jiménez Rojano

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

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

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

Cristian Elías Jiménez Rojano

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”** del Egresado Cristian Elías Jiménez Rojano, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentos emitidas por el centro de Estudios del Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firma,

Ing. Mg. Vinicio Almeida

Ing. Alex Frías

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado al esfuerzo que han puesto a cada una de las personas que me apoyaron durante la larga carrera de estudiante.

A mis padres por ser un ejemplo de sacrificio y constancia guiados por el amor a sus hijos, siempre inculcando el deseo de superación.

A mis hermanos por su incondicional apoyo con el cual podía contar en cada instante y cada situación difícil.

A todas y cada una de las personas que inyectaban positivismo en los días más difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme con unos padres llenos de amor y ganas de luchar frente a todas las adversidades con el solo objetivo de que sus hijos puedan alcanzar una formación académica la cual les permita progresar.

A mis hermanos por motivarme a seguir adelante pese a las duras dificultades que se presentaron en el camino.

Gracias a mis compañeros(as), por las risas, conversaciones y por apoyarme en situaciones difíciles durante toda la carrera

Gracias a mi tutor y de igual manera a mis calificadores por ayudarme en la elaboración del presente trabajo

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en especial a los docentes por compartir sus conocimientos y experiencias útiles para desenvolverme con éxito en la vida profesional.

ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

PAGINAS PRELIMINARES

Portada o carátula.....	I
Certificado del autor.....	II
Autoría del trabajo.....	III
Aprobación.....	IV
Aprobación del tribunal de grado.....	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Índice general	VIII
Índice tablas	XII
Índice gráficas	XIV
Resumen ejecutivo	XVI

CONTENIDO

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
2.1.1 Pavimento asfáltico	4
2.1.2 Tipos de mezclas asfálticas	5
2.1.3 Propiedades de las mezclas asfálticas	6

2.1.4	Agregados para la mezcla asfáltica	7
2.1.4.1	Propiedades de los agregados.....	8
2.1.5	Clasificación por tamaño del agregado	10
2.1.5.1	Agregados grueso	10
2.1.5.2	Agregado fino.....	10
2.1.5.3	Agregado mineral o filler	10
2.1.6	Gradación del agregado.....	11
2.1.7	Clasificación de ensayos	12
2.1.7.1	Ensayo de abrasión, máquina de los Ángeles Norma INEN 860 Y ASTM C-131	12
2.1.7.2	Ensayo de la densidad relativa (Gravedad específica), absorción del árido grueso INEN 0857 y ASTM C127	14
2.1.7.3	Ensayo de la densidad real (Gravedad específica), absorción del árido fino INEN 0856 y ASTM C128.....	14
2.1.8	Cemento asfáltico.....	15
2.1.8.1	Clasificación del cemento asfáltico por su naturaleza	15
2.1.8.2	Clasificación del cemento asfáltico.....	17
2.1.9	Fibras celulósicas	19
2.1.9.1	Clasificación de fibras	20
2.1.9.1.1	Fibras de origen natural.....	20
2.1.9.1.2	Fibras artificiales	22
2.1.10	Fibra agente estabilizador para el pavimento asfáltico	22
2.1.11	Mezclas asfálticas con fibras celulósicas	24
2.1.11.1	Agregados para pavimento asfáltico con fibras celulósicas.....	25
2.1.12	Propiedades del pavimento asfáltico con fibras	28
2.1.13	Métodos para el diseño de pavimentos asfálticos	29
2.1.13.1	Método Marshall	29
2.1.13.1.1	Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.	30
2.1.13.1.2	Tráfico TPDA.....	30
2.1.13.2	Método de Hubbard Field	31
2.1.13.3	Método de Hveem	31
2.2	HIPÓTESIS	31
2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	31

1.3.1	Variable independiente.....	31
1.3.2	Variable dependiente.....	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		32
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRAS.....	32
3.3	OPERACIONLIZACIÓN DE VARIABLES	33
3.3.1	Variable independiente.....	33
3.3.2	Variable dependiente.....	34
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	35
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	35
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		37
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	37
4.1.1	Ensayos realizados a los agregados.....	37
4.1.1.1	Ensayo N°1. Análisis granulométrico de los agregados.....	38
4.1.1.2	Ensayo N°2. Densidades de los agregados.....	40
4.1.1.2.1	Determinación de la densidad relativa (Gravedad específica) del agregado fino.....	40
4.1.1.2.2	Determinación de la densidad real (Gravedad específica) del agregado grueso.	42
4.1.1.3	Ensayo N°3.- Abrasión o desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los Ángeles Norma INEN 860 Y ASTM C131.	44
4.1.2	Diseño de la mezcla asfáltica	46
4.1.2.1	Elaboración de briquetas	46
4.1.2.2	Cálculo del porcentaje óptimo teórico.	48
4.1.2.2.1	Método del Instituto del Asfalto.....	48
4.1.2.3	Preparación de probetas método Marshall	49
4.1.3	Ensayos y tabulación de datos realizados a las probetas.....	51
4.1.3.1	Gravedad específica de la combinación de agregados.....	51
4.1.3.2	Gravedad específica Bulk de la probeta compactada (G).	52
4.1.3.3	Peso específico máximo teórico de la briqueta (H).....	53
4.1.3.4	Ensayo N°4. Gravedad específica máxima medida de la mezcla asfáltica método Rice Norma ASTM D 2041.	54
4.1.3.5	Porcentaje de asfalto absorbido (J).....	56
4.1.3.6	Volumen ocupado por el agregado con respecto a la probeta (K)	56

4.1.3.7	Volumen de vacíos en aire (L)	57
4.1.3.8	Volumen de asfalto efectivo (M)	57
4.1.3.9	Volumen de vacíos en el agregado mineral (N).....	58
4.1.3.10	Porcentaje del contenido de asfalto efectivo (O)	58
4.1.3.11	Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (P)	58
4.1.4	Ensayo N°5. estabilidad y deformación Marshall	59
4.1.4.1	Corrección de estabilidad por altura de la briqueta.....	60
4.1.4.2	Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.	65
4.1.4.3	Gráficas de las propiedades Marshall de los pavimentos asfálticos tradicional.....	66
4.1.4.4	Resultados obtenidos con porcentaje óptimo de asfalto para un pavimento asfáltico tradicional.	72
4.1.5	Diseño pavimento asfáltico con fibras celulosa	72
4.1.5.1	Obtención de la fibra celulosa.....	73
4.1.5.2	Dosificación de la fibra	74
4.1.5.3	Elaboración de briquetas mezcla asfáltica con fibras.....	75
4.1.5.4	Determinación del contenido óptimo de asfalto para pavimentos asfálticos con fibras.....	77
4.1.5.5	Gráficas de las propiedades Marshall para de los pavimentos asfáltica con Fibras.	78
4.1.5.6	Resultados obtenidos con porcentaje óptimo de asfalto para un pavimento asfáltico con fibras.	84
4.1.6	Resultados del ensayo de estabilidad y deformación del pavimento asfáltico tradicional Vs. al pavimento asfáltico con fibras.....	85
4.1.6.1	Representación gráfica de resultados, pavimento asfáltico tradicional y pavimento asfáltico con fibras.....	89
4.1.7	Representación de la estabilidad y el flujo del pavimento asfáltico tradicional con el porcentaje óptimo de asfalto y pavimento asfáltico con fibras con su respectivo porcentaje óptimo de asfalto.....	93
4.1.8	Verificación de criterios de diseño para mezclas “Marshall”.	95
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	98
4.2.1	Análisis de costos	99
4.2.1.1	Costos para un pavimento asfáltico tradicional.....	99
4.2.1.2	Costos para un pavimento asfáltico con fibras.....	103
4.2.2	Determinación de eficiencia.....	106

4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	107
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		108
5.1	CONCLUSIONES	108
5.2.	RECOMENDACIONES	110
MATERIAL DE REFERENCIA.....		111
1.	BIBLIOGRAFÍA.....	111
2.	ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.	Requisitos granulométricos.....	11
Tabla N° 2.	Especificación para el ensayo de abrasión.....	13
Tabla N° 3.	Especificaciones con base en la viscosidad.	17
Tabla N° 4.	Datos de producción de cocos.	23
Tabla N° 5.	Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipi SMA.	25
Tabla N° 6.	Especificaciones estándares para SMA AASHTO MP8-07.	26
Tabla N° 7.	Propiedades de fibra celulosa, AASHTO MP8.	27
Tabla N° 8.	Criterios de diseño para mezclas Marshall.	30
Tabla N° 9.	Granulometría del agregado.....	38
Tabla N° 10.	Densidad real del agregado fino.	41
Tabla N° 11.	Densidad real del agregado grueso.	43
Tabla N° 12.	Gradación de la muestra para ensayo.....	45
Tabla N° 13.	Desgaste del agregado grueso.....	45
Tabla N° 14.	Porcentaje de agregado grueso y fino.	52
Tabla N° 15.	Promedio de pesos específicos “Bulk”.	53
Tabla N° 16.	Densidad teórica Rice.	55
Tabla N° 17.	Factores de corrección de la estabilidad.	61
Tabla N° 18.	Ensayo Marshall realizado a las briquetas del pavimento asfáltico tradicional.	64

Tabla N° 19. Valores tomados en cuenta para contenido óptimo de asfalto.....	65
Tabla N° 20. Datos Peso específico “Bulk” Vs. % de asfalto.....	66
Tabla N° 21. Datos, vacíos en aire Vs % de asfalto.....	67
Tabla N° 22. Datos, V.A.M Vs. % C.A.	68
Tabla N° 23. Datos, vacíos llenos de asfalto Vs. % de asfalto.....	69
Tabla N° 24. Datos, estabilidad Vs. % de asfalto.....	70
Tabla N° 25. Datos Flujo Vs. % de Asfalto.	71
Tabla N° 26. Resumen de resultados obtenidos de las gráficas para porcentajes óptimos de asfalto.	72
Tabla N° 27. Ensayo Marshall realizado a las briquetas del pavimento asfáltico con fibras.	76
Tabla N° 28. Valores tomados en cuenta para contenido óptimo de asfalto.....	77
Tabla N° 29. Datos Peso específico “Bulk” Vs. % de asfalto.....	78
Tabla N° 30. Datos, vacíos con aire Vs. % de asfalto.....	79
Tabla N° 31. Datos, vacíos en agregados minerales Vs. % de asfalto.	80
Tabla N° 32. Datos, % vacíos llenos de asfalto Vs. % de asfalto.	81
Tabla N° 33. Datos, estabilidad Vs % de asfalto.....	82
Tabla N° 34. Datos, flujo Vs. % de asfalto.	83
Tabla N° 35. Resumen de resultados obtenidos de las gráficas para porcentajes óptimos de asfalto con fibras.	84
Tabla N° 36. Contenido de asfalto, estabilidad y flujo.	85
Tabla N° 37. Valores óptimos del cemento asfáltico con sus respectivas estabilidades y flujos.	93
Tabla N° 38. Comparación de resultados obtenidos – pavimento asfáltico tradicional	95
Tabla N° 39. Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral.	95
Tabla N° 40. Comparación de resultados obtenidos del pavimento asfáltico con fibras frente al criterio de diseño para mezclas Marshall y para requisitos de calidad para mezclas asfálticas con fibras (SMA).....	97
Tabla N° 41. Materiales para la mezcla de 1200gr.	99
Tabla N° 42. Valores en porcentaje para cada fracción de material.	99

Tabla N° 43. Porcentajes en peso para cada agregado grueso y fino.	100
Tabla N° 44. Porcentajes a utilizar para 1m ³	101
Tabla N° 45. Materiales para la mezcla con fibra para 1200gr	103
Tabla N° 46. Valores en porcentaje para cada fracción de la mezcla con fibra	103
Tabla N° 47. Porcentaje en peso para cada agregado (grueso y fino)	103
Tabla N° 48. Porcentaje a utilizar para 1m ³ de mezcla con fibra.....	104
Tabla N° 49. Determinación eficiencia.	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Textura superficial de los pavimentos	4
Gráfico N° 2. Estructura de la celulosa; a la izquierda, β - glucosa; a la derecha, varias β - glucosa unidas.	19
Gráfico N° 3. Fibras de coco	20
Gráfico N° 4. Fibras de bagazo de caña de azúcar	21
Gráfico N° 5. Fibras de bambú.....	21
Gráfico N° 6. Fibras de vidrio	22
Gráfico N° 7. Composición detallada de una mezcla SMA.	24
Gráfico N° 8. Fibras premezcladas con asfalto.	27
Gráfico N° 9. Máquina de Marshall.	29
Gráfico N° 10. Curva granulometría del agregado.....	39
Gráfico N° 11. Expulsión de aire del picnómetro.	40
Gráfico N° 12. Pesos canastilla más agregados.....	42
Gráfico N° 13. Desgaste del agregado	44
Gráfico N° 14. Materiales utilizados.	47
Gráfico N° 15. Equipos utilizados.....	47
Gráfico N° 16. Mezclado de los agregados.....	49
Gráfico N° 17. Moldeado de probetas	50
Gráfico N° 18. Probetas moldeadas	51

Gráfico N° 19. Remoción de burbujas de aire.....	55
Gráfico N° 20. Fallo de la briqueta	59
Gráfico N° 21. Curva, Peso específico “Bulk” (G) Vs. % de asfalto (B)	66
Gráfico N° 22. Curva, vacíos con aire (L) Vs. % de asfalto (B).....	67
Gráfico N° 23. Curva, % vacíos en agregado mineral (N) Vs. % de asfalto (B)	68
Gráfico N° 24. Curva, % de vacíos llenos de asfalto (P) Vs. % de asfalto	69
Gráfico N° 25. Curva, estabilidad (S) Vs. % de asfalto (B).....	70
Gráfico N° 26. Curva, flujo (T) Vs. % de asfalto (B)	71
Gráfico N° 27. Fibras de coco utilizadas.....	73
Gráfico N° 28. Tamizado y Pesado de Fibras	74
Gráfico N° 29. Premezclado de fibra – cemento asfáltico	75
Gráfico N° 30. Curva, peso específico “Bulk” (G´) Vs. % de asfalto (B´).....	78
Gráfico N° 31. Curva, vacíos con aire (L´) Vs. % de asfalto (B´)	79
Gráfico N° 32. Curva, % vacíos en agregados minerales (N´) Vs. % de asfalto (B´) 80	
Gráfico N° 33. Curva, % vacíos llenos de asfalto (P´) Vs. % de asfalto (B´).....	81
Gráfico N° 34. Curva, estabilidad (S´) Vs. % de asfalto (B´)	82
Gráfico N° 35. Curva, flujo (T´) Vs. % de asfalto (B´).....	83
Gráfico N° 36. Valores comparativos de las estabilidades Vs. % de asfalto	86
Gráfico N° 37. Valores comparativos del flujo Vs. % de asfalto.....	87
Gráfico N° 38. Curvas, peso específico “Bulk” Vs. % de asfalto	89
Gráfico N° 39. Curvas, vacíos con aires Vs. % de asfalto	90
Gráfico N° 40. Curvas, estabilidad Vs % de asfalto.....	91
Gráfico N° 41. Curvas, flujo (T) Vs. % de asfalto (B).....	92
Gráfico N° 42. Compartición de la estabilidad y flujo con él % óptimos de asfalto..	94

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”

Autor: Cristian Elías Jiménez Rojano

Tutor: Ing. Mg. Fricson Moreira

Fecha: Octubre 2016

El presente trabajo, se realizó con el objetivo de proporcionar un pavimento asfáltico con características adecuadas y capaces de disminuir la presencia de fisuras, para lo cual fue necesario recolectar los materiales adecuados para su posterior utilización en la investigación los materiales fueron proporcionados por; JEAL CONSTRUCCIONES ubicada en la ciudad de Ambato sector La Península, como también fue necesario recolectar la cáscara de coco desechada para su posterior extracción de la fibra de coco.

En primer instancia fue necesario determinar si los agregados tanto fino como grueso cumplían con las normas INEN Y ASTM, establecidas para la realización de un pavimento asfáltico, con estos antecedentes se procedió a realizar la granulometría correspondiente al tipo de agregado comprobando que se encuentren dentro de los límites establecido por MOP – 001 – F 2002.

Concluido y determinado este se procedió a realizar las probetas mediante el método Marshall que recomienda realizar 3 briquetas por cada contenido de asfalto empezando desde un porcentaje igual a 5% hasta 7% con intervalos de 0,5%, así mismo para posterior comparación se realizaron 3 briquetas para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado y adicionalmente en estas briquetas fue añadida la fibra en un porcentaje igual a 0,3% en peso calculado sobre la mezcla total.

Las briquetas ensayadas mediante el procedimiento Marshall el cual permitió tabular los datos de forma correcta para su posterior representación mediante gráficas de cada una de sus propiedades, determinando así los porcentajes óptimos de cada uno de los pavimentos asfálticos.

De los resultados obtenidos y realizada la comparación de la estabilidad y deformación con los porcentajes óptimos de asfalto, se determina que el pavimento asfáltico tradicional posee una mayor estable que el pavimento asfáltico con fibras siendo que el pavimento asfáltico tradicional es un 19,35% más estable que el pavimento asfáltico con fibras, no obstante, los dos tipos de pavimento cumplen con los criterios de diseño de un pavimento usable, con la diferencia que el pavimento asfáltico tradicional es menos costos que el pavimento asfáltico con fibras.

EXECUTIVE SUMMARY

TOPICO: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STABILITY AND DEFORMATION OF THE ASPHALTIC PAVIMENT WITH CELLULOSIC FIBERS AND THE TRADITIONAL ASPHALTIC PAVEMENT.

Author: Cristian Elías Jiménez Rojano

Tutor: Ing. Mg. Fricson Moreira

Date: October 2016

The present work was carried out with the of provide an asphalt pavement with adequate characteristics and capable to reduce the presence of cracks, for which it was necessary to collect the suitable materials for the later use in the research. The materials were provided by; JEAL CONSTRUCCIONES located in the Ambato city in The Peninsula sector, It was also necessary to collect the discarded coconut shell to remove the coconut fiber.

In first instance, it was necessary to determine if the aggregates both fine and thick complied with the INEN and ASTM standards, established to make the asphaltic pavement, with this background, we proceeded to make the granulometry corresponding to the type of aggregate verified, proving that they are inside of established limits by MOP - 001 - F 2002.

Finished and determined This, it proceeded performed by the Marshall method, that recommends to perform 3 briquettes for each asphalt content, starting from a percentage equal to 5% up to 7% with intervals of 0.5%, this to do a rear comparison. It made 3 briquettes for each percentage of asphalt cement used and additionally in these briquettes the fiber was added in a percentage equal to 0.3% by weight calculated over the total mixture.

The briquettes tested by the Marshall procedure which let to allowed to tabulate the datas correctly for its representation through graphics by each of their properties, determining like this the optimal percentages of each of the asphaltic pavements.

From the results obtained and the comparison of the stability and deformation preformed with the optimal percentages of asphalt, the traditional asphaltic pavement is determined to be higher tan asphaltic pavement with fibers,as the traditional asphaltic pavement is a 19.35% more it's possible that asphalt pavement with fibers, however, the two both types of pavement accomplish with the criteria of a useful design, with the difference that traditional asphalt pavement is less costly than asphalt pavement with fibers.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”

1.2 ANTECEDENTES

Varias investigaciones realizadas sobre la incorporación de materiales reciclados en pavimentos asfálticos, la utilización de fibras celulósicas no son recientes ya que muchos países de Europa Central utilizan este método para carreteras de tráfico pesado, donde la resistencia a las deformaciones deben ser mayor y por tanto se debe proveer una capa de rodadura uniforme.

Los pavimentos asfálticos con fibras tuvieron sus orígenes en Alemania, en los años 60 debido a la necesidad de incorporar a su sistema de carreteras una carpeta asfáltica de gran calidad y resistente al corte, que ofrezca una alta resistencia al deslizamiento, la empresa que realizó el estudio STRABAG con la colaboración del líder en tecnologías con fibras J. Rettenmaier se centraron en la utilización de fibras naturales, ya que este tipo de fibras no reacciona negativamente durante el proceso de fabricación de la mezcla.

Según experiencias y ensayos realizados en tesis anteriores sobre la composición y estructura de los pavimentos asfálticos con fibras celulósicas, se menciona que dichas mezclas de tipo discontinuas, poseen alto contenido de agregado grueso ya que la compatibilidad de áridos, ligante, filler más fibra mejora la adición de la mezcla lo que proporciona un esqueleto resistente al fisuramiento.

Según la VIII Jornada Nacional ASEFMA 2013 “FIBRAS DE CELULOSA ADITIVADAS PARA MEZCLAS TIPO SMA CON PROPIEDADES MEJORADAS”, menciona que Las fibras funcionan como agente estabilizador en las mezclas asfálticas, prevé el escurrimiento del ligante formando una mezcla de estructura homogénea ya que las propiedades especiales de las fibras celulósicas de origen vegetal proporcionan una elevada adherencia entre las partículas de los agregados.

Según el libro “DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS”, de los autores M.Sc. Silene Minaya G. - M.Sc. e ING. Abel Ordóñez H. (2006), menciona que la fortaleza de las mezclas SMA, se basa en una estructura granulométrica donde predomina el contacto piedra-piedra el mismo que le provee de alta resistencia cortante y baja deformación permanente, La granulometría incompleta (“gap-graded aggregate”) del SMA es rellenada con un mastic de finos, filler, asfalto y fibra.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del presente trabajo se lo realizo con el fin de obtener un pavimento asfáltico ecológicas que aplicadas al campo de la construcción de carreteras, logre solucionar problemas de tráfico pesado, [1] ya que en los últimos años las carreteras de nuestro país constituyen el pilar fundamental para el crecimiento socio económico y productivo de las regiones.

Para lo cual en el desarrollo de la investigación se buscara aportar con datos y resultados comparativos de ensayos, que busquen mejorar las características del pavimento asfáltico mediante la incorporación de fibras como agente estabilizador intentando que la estabilidad del pavimento asfáltico aumente y por lo tanto alargue el periodo de vida de mismo, ya que en la provincia existe un sin número de carreteras que presentan un problema característico en la carpeta asfáltica como es el envejecimiento prematuro del asfalto, muchas veces, esto se visualiza superficialmente sin la necesidad de que exista un hundimiento y en otras ocasiones de forma más severa con el desprendimiento de la carpeta asfáltica por consiguiente la aparición de baches causando malestar y desconformidad en los usuarios. [3]

Según varias investigaciones la incorporación de fibras proporciona un beneficio a la carpeta asfáltica en un alto grado de estabilidad al pavimento asfáltico en altas temperaturas, así mismo dándole mayor durabilidad debido a una mejor cohesión, a su impermeabilidad y su alto contenido de asfalto, por consiguiente se prevendrá la formación de baches en las carreteras creando así un ambiente propicio para la trasportación tanto de personas como de mercancías atrayendo inversión económica en las poblaciones.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Establecer el comportamiento a la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional.

1.4.2 Objetivos específicos

- Proponer un sistema más ecológico con la incorporación de fibras celulósicas en las mezclas asfálticas.
- Analizar la estabilidad del pavimento asfáltico con fibras celulósicas frente al pavimento asfáltico tradicional.
- Determinar el grado de efectividad de este tipo de mezclas
- Establecer el costo del pavimento asfáltico con fibras y el pavimento asfáltico tradicional.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

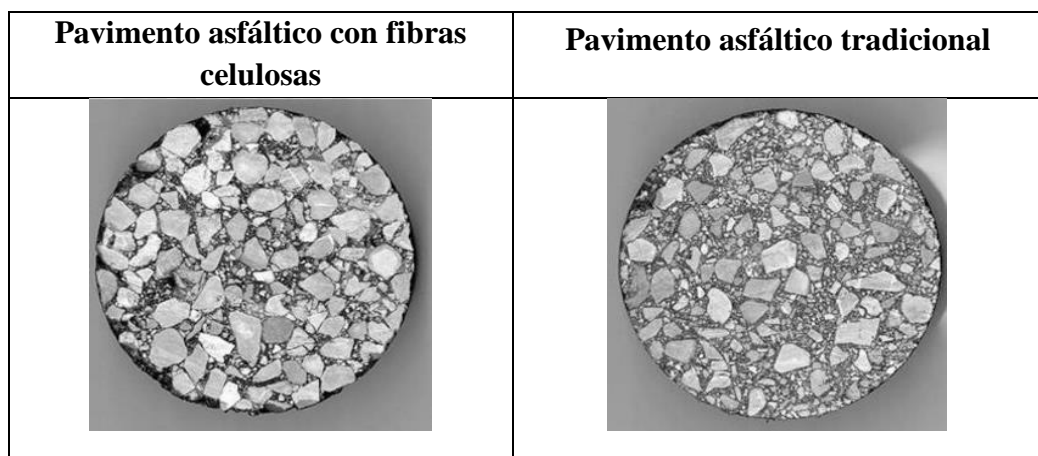
El proyecto se sustenta en el análisis comparativo de los pavimentos asfálticos con fibras celulósicas: frente a los pavimentos asfálticos tradicionales mediante la realización de probetas en el laboratorio para lo cual se debe conocer conceptos y definiciones de los distintos agregados y materiales que compondrán las mezclas experimentales hacer ensayadas.

2.1.1 Pavimento asfáltico

El pavimento asfáltico es un conjunto de agregados que forman una mezcla de color negro o pardo oscuro, que es utilizado generalmente en las construcciones civiles como la pavimentación de carreteras, por sus características de fácil aplicación, por su versatilidad y durabilidad, son excelentes para este tipo de trabajos.

El pavimento asfáltico está constituido en un 90% de agregado grueso, fino, en un 5% aproximadamente de polvo mineral o filler y el otro 5% de cemento asfáltico. [15]

Gráfico N° 1. Textura superficial de los pavimentos



Fuente: Optimización del presupuesto de conservación de firmes con mezclas SMA

2.1.2 Tipos de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas se pueden clasificar de acuerdo a su textura o por las condiciones para las cuales fueron diseñadas.

Mezclas asfálticas en caliente

Este tipo de mezclas; se caracterizan porque se la realiza en caliente con agregados bien gradados, previamente calentados a una temperatura que debe estar entre 130 – 160 °C este tipo de mezcla se compone mayormente de agregados gruesos. Usualmente posee una granulometría densa, lo cual hace que posea vacíos de aire menores al 6% [6] este tipo de mezclas son las más usadas en el país.

Mezclas asfálticas semicalientes o tibias

Las mezclas asfálticas semicalientes o tibias conocidas como Warm Mix Asphalt (WAM), poseen las mismas propiedades que las mezclas en caliente excepto que en el proceso de elaboración la temperatura es reducida significativamente alrededor de 60°C - 70°C para los agregados y de 60°C – 80°C en el cemento asfáltico lo que ahorra el consumo de energía en alrededor de un 30%. La finalidad de su elaboración es obtener una mezcla de rápida fabricación con un buen módulo de elasticidad. [7]

Mezclas asfálticas en frio

Las mezclas asfálticas en frio suelen ser utilizadas generalmente en vías secundarias por su fácil proceso de mezclado ya que se lo realiza a temperatura ambiente. El asfalto puede ser precalentado hasta no más de 60°C igualmente es posible la preparación in situ es decir en la misma calzada donde va a ser aplicada. [6]

Mezclas abiertas o porosas

Este tipo de mezclas se caracterizan por poseer una gran cantidad de agregado grueso, mayor al 75% lo que la hace una mezcla con gran cantidad de vacíos que es

aproximadamente de 18% - 25% lo cual permite el paso del agua entre sus agregados. Es una mezcla adecuada para zonas con gran presencia de lluvia. Ya que la superficie permite la evacuación con mayor fluidez reduciendo la resistencia al deslizamiento.

2.1.3 Propiedades de las mezclas asfálticas

Las propiedades de las mezclas asfálticas dependen de la selección cuidadosa de los materiales que la conforman ya que el uso y sección de materiales juega un papel importante en cada una de las propiedades para el diseño de la mezcla. Considerando que una mezcla debe poseer las siguientes consideraciones:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Trabajabilidad
- Resistencia al deslizamiento.

Estas propiedades suelen variar ya que los materiales con los cuales se diseña no siempre son iguales, haciendo que el campo de aplicación también varíe. [7]

Durabilidad

La durabilidad se puede decir que es la resistencia al deterioro del pavimento por la exposición a diversas agresiones, así como por el desgaste producido por el tráfico.

Estabilidad

La estabilidad es la propiedad del pavimento asfáltico a soportar deformaciones sometidas a cargas de tránsito y resistir desplazamientos horizontales dependiendo de

la fracción y la cohesión interna, la fracción es relacionada con la textura del agregado y la cohesión con las características del ligante. [1]

Impermeabilidad

Es la capacidad del pavimento asfáltico a evitar la infiltración del agua o aire a la carpeta asfáltica.

Flexibilidad

La flexibilidad es la propiedad del pavimento asfáltico de sufrir deformaciones adaptándose a los cambios que se puede producir en las capas inferiores sin sufrir ningún agrietamiento.

Resistencia a la fatiga

Capacidad de soportar los esfuerzos provocados por el tránsito. [9]

Trabajabilidad

La capacidad con la cual el material puede ser mezclado en el proceso de elaboración o colocación del pavimento ha sumado las características de los materiales.

Resistencia al deslizamiento

Hace referencia a la capacidad del pavimento asfáltico para evitar el deslizamiento de los neumáticos sobre todo cuando se encuentran mojados.

2.1.4 Agregados para la mezcla asfáltica

Los agregados empleados en las mezclas asfálticas deben cumplir cierta normativa y especificaciones; requeridas para una mezcla adecuada estos pueden ser locales o provenientes de diversas minas o plantas trituradoras.

Estos suelen clasificarse según el tamaño del árido como agregado grueso o agregado fino, pudiendo ser de origen natural, procesados, sintéticos o artificiales.

Agregados naturales

Este tipo de agregados son de origen natural, son materiales que para su obtención no se realizaron ningún mecanismo de trituración o algún proceso similar, son producto del resultado de la erosión o degradación, están presentes en ríos y minas. [8]

Agregados triturados

Son agregados obtenidos del proceso de trituración de rocas los cuales deben satisfacer las propiedades para las cuales van hacer utilizadas. [8]

Agregados artificiales

Son materiales que resultan del proceso de otras industrias o de la misma industria y que son reciclados, como los productos resultantes de la trituración en altos hornos de fragmentación de roca caliza. [8]

2.1.4.1 Propiedades de los agregados

La selección de los agregados es de suma importancia ya que constituyen de 90 -95% de peso total de la mezcla, esto causa que la selección de agregados sea un factor importante, existe variedad de lugares desde grandes procesadoras de material pétreo, hasta aquella que se limitan a solo su extracción y manipulación.

Condiciones que deben satisfacer los agregados.

Limpieza

El material debe comportarse de forma favorable a la salud del usuario para lo cual las especificaciones ponen ciertos límites que deben cumplir en cuanto a la cantidad de

material indeseable que puede poseer (vegetación arcilla, partículas blandas, terrones de arcilla).

Resistencia

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y el desgaste producidos durante la elaboración de la mezcla.

Forma de la partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla del pavimento durante su colocación, así como la calidad de fuerzas necesarias para compactar la mezcla. [10]

Textura superficial

La textura de la partícula es un factor importante ya que determina la resistencia del pavimento, siendo que si posee una superficie áspera aumenta la resistencia debido a que se evitan que las partículas se mueven una con respecto a la otra así mismo el ligante se adhiere mejor a las superficies ásperas.

Capacidad de absorción.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después de la mezcla. [10]

Afinidad por el asfalto

La afinidad de un agregado con asfalto es la tendencia de aceptar y retener una capa de asfalto sobre el agregado.

2.1.5 Clasificación por tamaño del agregado

2.1.5.1 Agregados grueso

Se define como agregado grueso (Grava - Ripio) a la porción del material con características pétreas de tamaño mayor a 5mm. Estos pueden ser de origen natural obtenidos en minas luego del proceso de tamizaje o en plantas procesadoras luego de la trituración de rocas, para mezclas asfálticas es preferible que este agregado sea proveniente de plantas trituradoras ya que durante el proceso de mezclado se desea adquiere una uniformidad adecuada lo que facilita la trabajabilidad del mismo.

2.1.5.2 Agregado fino

Se define como agregado fino al material de partículas pequeñas que es resultado de la trituración de rocas, canteras o de las orillas de los ríos y que pasa el tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200.

2.1.5.3 Agregado mineral o filler

El aumento de este material en la mezcla será beneficioso en la estabilidad y la trabajabilidad hasta un cierto punto ya que si el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 es mayor al necesario, el porcentaje de fino será muy alto provocando así el distanciamiento desproporcionado del agregado grueso variando la capacidad de compactación.

Las funciones del filler son:

- Disminuir la cantidad de vacíos existente en la mezcla aumentando así la estabilidad y la uniformidad.
- Graduar la distribución de los agregados gruesos en la mezcla.

2.1.6 Gradación del agregado

La gradación de agregado es muy importante para la mezcla asfáltica, además cabe recalcar que la mezcla asfáltica al poseer más del 90% de agregados estos deben poseer propiedades adecuadas las cuales confieran una mezcla asfáltica con buenas propiedades.

Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc. De tal manera que cumplan los requisitos establecidos en la tabla, que corresponde a la **tabla 405 – 5.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes** de esta especificación según corresponda se clasifican en “A”, “B”, “C”. [9]

Tabla N° 1. Requisitos granulométricos

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

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes

MOP-001-F 2002

Agregados tipo A: En este tipo se encuentran el agregado grueso, producto del proceso de trituración. El agregado fino que puede ser de origen natural o material triturado pudiéndose añadir relleno mineral como producto para cumplir con la granulometría requerida o la incorporación de cemento Portland.

Agregado tipo B: Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso debe ser material triturado. El agregado fino puede ser procedente de depósitos naturales, así como el relleno mineral. [9]

Agregado tipo C: Este tipo puede ser material procedente de depósitos naturales o de trituración dependiendo de la disponibilidad de la zona y que cumplan las especificaciones sometidas al ensayo Marshall. [9]

2.1.7 Clasificación de ensayos

Los agregados deben cumplir los requerimientos para mezclas asfálticas, para lo cual se describirán los ensayos a ejecutarse para el cumplimiento de las especificaciones de los materiales a usarse.

2.1.7.1 Ensayo de abrasión, máquina de los Ángeles Norma INEN 860 Y ASTM C-131

La determinación de la resistencia del agregado al desgaste se determina mediante el ensayo de abrasión por medio de la máquina de los Ángeles Norma INEN 860.

Tabla N° 2. Especificación para el ensayo de abrasión.

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	"mm"	N°	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25			
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25			
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2	12,50	3/8	9,59	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8	9,59	1/4	6,25			2500 ± 10	
1/4	6,25	N°4	4,76			2500 ± 10	
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Numero de Esferas				12	11	8	6
Numero de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo abrasión norma ASTM C-131

Después de realizado el ensayo, se retira el material y se criba por el tamiz N°12 toda la porción retenida se tomará en cuenta para el cálculo del porcentaje del desgaste.

$$\% \text{ Desg.} = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$$

Dónde:

$W_{inicial}$ = Masa de la muestra antes del ensayo

W_{final} = Masa final de la muestra después del ensayo

% Desg = Porcentaje de desgaste

2.1.7.2 Ensayo de la densidad relativa (Gravedad específica), absorción del árido grueso INEN 0857 y ASTM C127

Este método de ensayo se aplica para determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.

Fórmulas:

Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)

$$G_{SSsb} = \frac{B}{B - C}$$

Cálculo del porcentaje de absorción.

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

A= Masa en aire de la muestra seca al horno

B= Masa en aire de la muestra saturado superficialmente seca.

C= Masa aparente en agua de la muestra saturada.

2.1.7.3 Ensayo de la densidad real (Gravedad específica), absorción del árido fino INEN 0856 y ASTM C128.

Este método se utiliza para determinar la densidad real del árido fino sin incluir el volumen de vacíos.

Fórmulas:

Densidad relativa (Gravedad específica) (SSS)

$$G_{SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

Absorción del agregado.

$$Absorción, \% = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Dónde:

A= masa de la muestra seca al horno.

B= masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración.

C= masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración.

S= masa de muestra saturada superficialmente seca.

2.1.8 Cemento asfáltico

Desacuerdo con la NTE INEN 2 062:1996 Son materiales aglomerantes sólidos o semisólidos, de color que varía de negro a pardo oscuro, los constituyentes que predominan son betunes que se encuentran en estado sólido y semisólido o productos derivados de la destilación del petróleo.

2.1.8.1 Clasificación del cemento asfáltico por su naturaleza

Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales, básicamente, son aquellos que se pueden encontrar en distintas partes del mundo y que son usados con múltiples fines incluso para la construcción de pavimentos. [7] El asfalto se lo puede encontrar de forma natural como en el Lago Guanaco en Venezuela que es un yacimiento de asfalto con una extensión de 420 hectáreas se encuentra en estado natural.

Asfaltos producidos para pavimentos

- **Cementos asfálticos:** Son usados a altas temperaturas para poder incorporarlos a agregados y así formar las llamadas mezclas asfálticas en caliente. Es un material termoplástico que contiene propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad y altas resistencias a la acción de la mayoría de ácidos sales y álcalis.[7]
- **Emulsiones asfálticas:** Las emulsiones asfálticas son dispersiones en agua de glóbulos asfálticos de dos a cinco micrones de diámetro, que se mantienen estables en presencia de un agente emulsificante que pueden ser ácidos grasos o resinas con bases fuertes. [21]

Las emulsiones asfálticas, según su agente emulsificante, se dividen en tres tipos aniónicas, catiónicas y no iónicas [9], las cuales presentan cargas positivas negativas y neutras generalmente las dos primeras son las más usadas en la construcción de carreteras.

Las emulsiones contienen generalmente, entre 50 y 70 % de cemento asfáltico y entre el 30 y 50% de agua y son líquidos a la temperatura ambiente. [9]

Asfaltos líquidos o diluidos

Son asfaltos diluidos aquellos de consistencia suave o fluida, que exceden el límite permitido por el ensayo normal de penetración INEN 917, que es 300. Este asfalto se clasifica de acuerdo con el grado de volatilidad del diluyente, asfalto diluido de curado rápido, medio y lento se lo designa por las siglas RC, MC Y SC, respectivamente, seguidas de un número que se refiere a la viscosidad de producto. [9]

2.1.8.2 Clasificación del cemento asfáltico

De acuerdo con lo estipulado en la norma ecuatoriana vial NEVI-12(MTOP), el cemento asfáltico se clasifica según el grado de viscosidad a una temperatura de 60°C considerando la susceptibilidad por temperatura. Como indica la norma ASTM D-3381.

Asfalto refinado o una combinación de este con un aceite fluidificado cuya viscosidad es apropiada para los trabajos de pavimentación. [11]

Por el grado de viscosidad

Se clasifica según su viscosidad Absoluta medida a 60°C y expresada en poise. Proviene de la fracción pesada de la destilación del petróleo crudo.

Tabla N° 3. Especificaciones con base en la viscosidad.

Requerimientos para cemento asfáltico clasificado por grado de viscosidad a 140°F(60°C)						
Ensayo	Grado de Viscosidad					
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40	
Viscosidad 140°F (60°C),P	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	4000 ± 800	
Viscosidad 2750F (1350C), mínimo, cSt	80	110	150	210	300	
Penetración 770F (250C), 100g. 5s. Mínimo	200	120	70	40	20	
Punto llama copa abierta Cleveland, mínimo °F (°C)	325(163)	350(177)	425(219)	450(232)	450(232)	
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo %	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	
Ensayo sobre el residuo del TFOT:						
Viscosidad 140°F (60°C), máximo	1250	2500	5000	10000	20000	
Ductilidad 77°F (25°C), 5cm/min. mínimo cm.	100 ^A	100	50	20	10	
Requerimientos para cemento asfáltico clasificado por grado de viscosidad a 140°F(60°C)						
Ensayo	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad 140°F (60°C),P	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad 275°F (135°C), mínimo, cSt	80	110	150	210	350	400
Penetración 77°F (25°C), 100g. 5s. Mínimo	200	140	80	60	50	40
Punto llama copa abierta Cleveland, mínimo °F (°C)	325(163)	350(177)	425(219)	450(232)	450(232)	450(232)
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo %	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Ensayo sobre el residuo del TFOT:						
Viscosidad 140°F (60°C), máximo	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad 77°F (25°C), 5cm/min. mínimo cm.	100 ^A	100	75	50	40	25
Requerimientos para cemento asfáltico clasificado por grado de viscosidad a 140°F (60°C)						
Ensayo sobre el residuo del RTFOT:	AC-1000	AC-2000	AC-4000	AC-8000	AC-16000	
Viscosidad 140°F (60°C), P	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000	
Viscosidad 2750F (1350C), mínimo, cSt	140	200	275	400	550	
Penetración 77°F (25°C), 100g. 5s. mínimo	65	40	25	20	20	
% de penetración original, 77°F (25°C), mínimo	-	40	45	50	52	
Ductilidad, 77°F (25°C), 5cm/min. mínimo cm	100 ^A	100 ^B	75	75	75	
Ensayo sobre el asfalto original:						
Punto de llama copa abierta Cleveland, mínimo °F (°C)	400(205)	425(219)	400(227)	450(232)	460(238)	
solubilidad en tricloroetileno mínimo %	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	

Fuente: ASTM

Por el grado de penetración

Se basa en ensayos realizados el cual se describe el grado de consistencia a una temperatura de 25°C. [11]

Los más utilizados son:

C.A 60-70(AP5)

C.A 80-120(AP3)

Los valores numéricos que indican a un cemento asfáltico, indican la distancia en décimas de milímetros, que una aguja normalizada que penetra dentro de la muestra a condiciones de temperatura de 25°. El número 80-120, representa un grado de penetración, medido en décimas de milímetro medidas en un ensayo normalizado. [9]

AP5 significa un asfalto duro.

AP3 significa un asfalto medio.

Por el grado de comportamiento

Se basa en el desempeño previsto del ligante y lo especifica en función de las condiciones climáticas extremas en que presenta propiedades físicas adecuadas se designan con el acrónimo PG, acompañado de dos números que indican la temperatura máxima y mínima de diseño (Ejemplo: PG 64- 28). [11]

Propiedades del cemento asfáltico

- Peso específico
- Solubilidad tricloroetileno
- Punto de inflación.
- Punto de reblandecimiento
- Penetración a 25°C
- Ductilidad a 25°C
- Viscosidad Saybol Furol

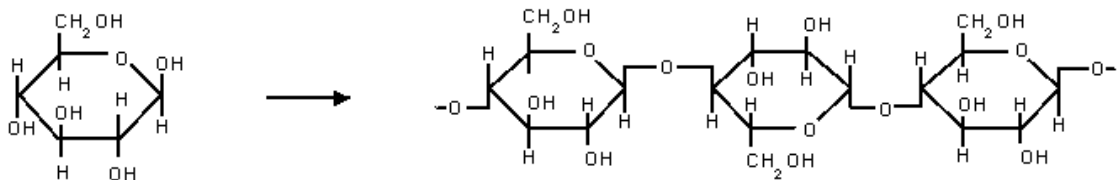
- Viscosidad absoluta a 60°C
- Viscosidad cinemática 135°C
- Pérdida por calentamiento

2.1.9 Fibras celulósicas

La celulosa es el alto polímero natural más importante, ya que constituye el principal compuesto de los troncos y otras partes de las plantas. La celulosa junto con las hemicelulosas, pectinas y lignina constituyen el material de sostén de las células vegetales. Todas las fibras naturales del reino vegetal contienen como componente principal la celulosa (60 – 90 %). [23]

Químicamente la celulosa es un polisacárido de fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, formado por condensación de moléculas de glucosa $C_6H_{10}O_6$ enlazada entre sí por la unión del grupo hidroxilo glucósido del carbono 1 de una molécula con el grupo hidroxilo alcohólico del carbono 4 con separación de agua. [23]

Gráfico N° 2. Estructura de la celulosa; a la izquierda, β - glucosa; a la derecha, varias β - glucosa unidas.



Fuente: [www. Wikipedia.org](http://www.Wikipedia.org)

La celulosa es una fibra vegetal que se asemeja al cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Por ejemplo la fibra de algodón tiene una longitud de 20-25mm y la de eucalipto 0,6-0,8 mm [14], o ser tan delgadas como ocurren con las fibras de nano celulosas hechas de cristal o carbono.

Una propiedad física de la celulosa es la características mecánicas de las fibras de celulosa tiene por ejemplo una resistencia a la rotura similar a los metales atribuida al

mencionado empaquetamiento paralelo longitudinal de sus largas cadenas macromoleculares. [23]

Las fibras celulósicas presentan una mayor resistencia al desgarre en sentido transversal que en longitudinal. [23]

2.1.9.1 Clasificación de fibras

Las fibras a emplear en las mezclas asfálticas con fibras celulósicas deben ser capaces de inhibir el escurrimiento de ligante [5] y poseer una característica neutral evitando reacciones negativas con el resto de materiales a emplearse.

Existen varios tipos de fibras para lo cual clasificaremos en:

2.1.9.1.1 Fibras de origen natural

Las fibras celulósicas de origen vegetal es el producto obtenido en forma natural de semillas, tallos, frutos, etc. Procesadas de distinta manera para obtener distintas derivaciones de fibras para ser utilizadas en productos textiles, agrícolas o industriales 100% renovables.

➤ Fibras de Coco

La fibra de coco se obtiene de la cáscara del fruto de cocotero, planta de origen tropical actualmente siendo cultivada en numerosos países asiáticos, América central y meridional. [12]

Gráfico N° 3. Fibras de coco



Fuente: www.trixie.es

➤ **Fibras del bagazo de la caña de azúcar**

Este tipo de fibras es el resultante del proceso de obtención del azúcar, este producto suele ser utilizado en la industria papelera luego de ser tratado de forma que no posea materiales perjudiciales, puesto que la caña de azúcar luego del proceso de molino posee una 45% de fibra, 2-3% de sólidos salubres, 2-3% de sólidos insalubres, 50% de humedad para lo cual debe ser secado y los sólidos deben ser removidos mediante el lavado con agua. [13]

Gráfico N° 4. Fibras de bagazo de caña de azúcar



Fuente: www.unperiodico.unal.edu.co

➤ **Fibras de bambú**

Los árboles de bambú son originarios de zonas tropicales donde estos pueden llegar a medir alturas que superan los 12m, en el bambú las fibras aproximadamente 45 % contribuyen a la masa de entre nudos, es un material con baja elasticidad.

Gráfico N° 5. Fibras de bambú



Fuente: es.btm-europe.com

2.1.9.1.2 Fibras artificiales

Existen varios tipos de fibras celulósicas de carácter artificial que se han desarrollado con el propósito de mejorar o contribuir al mejoramiento de distintos experimentos que se realizan en laboratorios con el fin de proporcionar materiales de alta calidad a los sistemas constructivos.

Gráfico N° 6. Fibras de vidrio



Fuente: www.directindustry.es

➤ **Fibras peletizadas**

Las fibras peletizadas se puede definir como un conjunto de partículas aglomeradas y pre mezcladas con betún.

2.1.10 Fibra agente estabilizador para el pavimento asfáltico

Fibra de coco

La fibra de coco posee propiedades como resistencia a esfuerzos de flexión, tracción, compresión, torsión, dureza, estabilidad, que son beneficiosas para mezclas que requieren altos estándares de calidad ya que se adapta fácilmente por ser un material de origen vegetal y no reacciona negativamente en las distintas aplicaciones que se le dé.

Características de la fibra de coco

- Es una fibra multicelular que tiene como principal componente la celulosa y el leño lo que confiere elevados índices de rigidez y dureza. [17]

- Es un material con alta resistencia al impacto.
- La fibra de coco es resistente a las bacterias por lo que es poco probable que exista proliferación de hongos en las mismas.
- La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento (térmico y acústico). [17]
- Es un material 100% de origen natural con alto grado de estabilidad lo que lo hace un material con buenas características físico mecánicas por largo periodo.

Disponibilidad de material en el Ecuador

Tabla N° 4. Datos de producción de cocos.

PROVINCIAS	PRODUCCION DE COCO
	Ton
Manabí	11,011
Esmeraldas	6,500
Guayas	1,568
Sucumbíos	770
Napo	260
Orellana	95
Galápagos	6

Fuente: Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador

Usos de la fibra de coco

La fibra de coco principalmente es utilizada en la industria agropecuaria, como material para la recuperación de suelos dañados por la erosión, ya que posee una alta capacidad de retención del agua.

La fibra de coco puede ser utilizada en la elaboración de artesanías, textiles, colchones, además de que se realizan varias investigaciones del uso de materiales con matriz de fibra de coco como por ejemplo: en la elaboración de cerámicos, módulos estructurales para viviendas, etc.

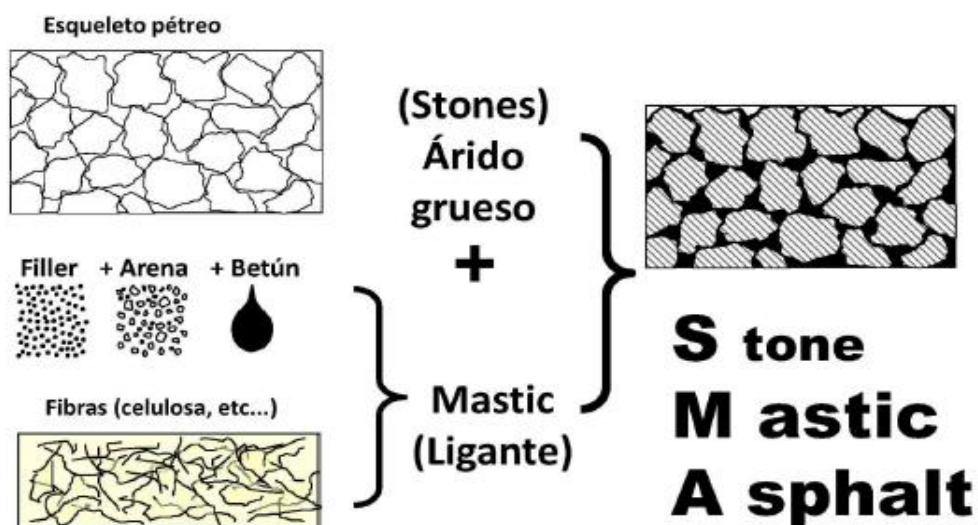
Precios de la fibra de coco

Los precios de la fibra de coco es muy barata, ya que se obtiene de la cáscara de coco que es desechada, pero en otros países se están aprovechando para distintos usos de la industria, aun así el costo de este producto sigue siendo barato ya que una tonelada de fibra de coco se cotiza en 380 dólares americanos la tonelada. [20]

2.1.11 Mezclas asfálticas con fibras celulósicas

La mezcla asfáltica con fibras celulósicas es una mezcla en caliente que se caracteriza por ser impermeable estable, durable y resistente a la formación de roderas, [15] es el resultado de la combinación de áridos, ligante, filler más fibras en adecuada graduación en tal forma que formen una estructura autoportante rodeada de un mastic.

Gráfico N° 7. Composición detallada de una mezcla SMA.



Fuente.- Ing. Francisco Gallart. Evaluación en laboratorio de la durabilidad de mezclas bituminosas tipo SMA.

Además este tipo de mezclas deben poseer ciertos tipos de requisitos que provean una mezcla adecuada y utilizable.

Tabla N° 5. Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipi SMA.

Características	Requisitos
Número de golpes por cara con el martillo Marshall	50 -75
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); % .mínimo	3,0 - 4.0
Vacíos en el agregado mineral (VAM); % mínimo	17
Vacíos ocupados por asfaltos (VFA); %	75-82
Contenido de fibras de celulosa. % en peso de la mezcla, mínimo	0,3
Contenido de cemento asfáltico, % en peso de la mezcla, mínimo	6,0min
Adicionalmente los vacíos de la grava en la mezcla asfáltica compactada (VAG_{MIX}) serán menor que los vacíos en la grava, en la condición de varilla en seco (VAG_{DRC})	
Para caminos de bajo volumen de tránsito o climas fríos, se puede permitir un porcentaje de vacíos en las mezclas menores que 4,0% pero nunca debajo de 3,0%	
Para determinar los valores VAG_{MIX} Y VAG_{DRC} se aplicarán los procedimientos indicados en el manual M-MMP-4-05-043, Método de Diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Discontinua, Tipo SMA	

Fuente: N-CMT-4-05-003/08

2.1.11.1 Agregados para pavimento asfáltico con fibras celulosas

Agregados grueso

El agregado grueso en la mezcla SMA está definida en función del tamaño nominal máximo (TNM) de la mezcla es decir que para un TNM de 12,5 – 19 mm el agregado será él que se retiene en el tamiz N° 4(4.75mm), para un TNM de 9,5mm se deberá tomar el agregado retenido por el tamiz N° 8 (2.36mm). [15]

➤ **Tamaño máximo nominal**

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices. [8]

➤ **Tamaño máximo del agregado**

Nominado como el tamiz más pequeño por donde atraviesa el 100% de las partículas del agregado pétreo. [8]

Tabla N° 6. Especificaciones estándares para SMA AASHTO MP8-07.

Ensayo	Descripción	Norma	Especificación
Resistencia la desgaste máquina de los ángeles	-	AASHTO T96	30% máx.
Contenido de caras fracturadas	Una cara	ASTM D5821	100 min
	Dos caras		90 min
Absorción	-	AASHTO T85	2%

Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos. S. Minaya, A. Ordoñez

Agregados finos

El agregado fino será la proporción de material que pasa el tamiz N° 8 (2.36mm) para el TNM de 9.5mm el tamiz N°4 y para un TNM de esta deberá provenir del proceso de trituración y podrá ser mezclada con material natural 12.5- 19mm el tamiz N°4. [15]

Relleno mineral (filler)

Se define como filler como el material aportante a la mezcla este puede ser resultado del proceso de triturado o a su vez también puede ser utilizado como este material cemento portland siempre y cuando el material pase el tamiz N° 200.

Fibras

Las fibras celulósicas podrán ser de origen natural o artificial que no provoquen reacciones perjudiciales en la mezcla Norma AASHTO MP8

Tabla N° 7. Propiedades de fibra celulósicas, AASHTO MP8.

Propiedades	Especificación
Longitud de fibra (máx.)	6mm
Análisis por tamizado	
Método A: Análisis por tamiz Alpina	
Pasa tamiz N° 100	70±10%
Método B: Análisis por tamiz Cuadrado	
Pasa tamiz N°20	85% (±10%)
Pasa Tamiz N°40	65% (±10%)
Pasa Tamiz N°140	30% (±10%)

Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos. S. Minaya, A. Ordoñez

La cantidad adecuada será el 0.3% del peso de la muestra total

Gráfico N° 8. Fibras premezcladas con asfalto.



Fuente: Evolución en laboratorios de la durabilidad de mezclas bituminosas tipo

SMA

2.1.12 Propiedades del pavimento asfáltico con fibras

➤ **Excelente estabilidad en altas temperaturas**

Debido a que las mezclas tienen un esqueleto autoportante de áridos gruesos de buena calidad, que proporciona un incremento de la fricción interna y de la resistencia al corte confiriéndoles una estabilidad muy alta.[16]

➤ **Buena flexibilidad a bajas temperaturas**

Debido al empleo de una mezcla rica en estabilizadores el aumento en la resistencia al fisuramiento térmico es muy considerable evitando la llamada piel de cocodrilo.

➤ **Resistencia al desgaste**

Debido a que la mezcla presenta una baja cantidad de vacíos. Este tipo de mezclas no son susceptibles al envejecimiento prematuro ya que las características de la mezcla la hacen altamente impermeable.

➤ **Alta adherencia entre agregados**

Ya que con la incorporación de fibras celulósicas como estabilizador, se previene un escurrimiento del ligante obteniendo una masa espesa y rica en filler - fibra aumentando la adherencia entre bitumen y agregados.

➤ **Mezclas sin tendencia a separarse.**

Debido que es una mezcla gradada con una uniformidad elevada se obtiene una eficiente estabilidad del mortero que evita segregación de partículas gruesas. [16]

➤ **Resistencia al deslizamiento**

Debido a la profundidad de su textura superficial y al uso de áridos gruesos, se obtiene una excelente resistencia al deslizamiento. [5]

2.1.13 Métodos para el diseño de pavimentos asfálticos

Los requerimientos de seguridad vial exigidos, hoy en día son amplios y exigen un grado de seguridad para el diseño de pavimentos asfálticos por lo que tomaremos en consideración los métodos de diseño más conocidos:

2.1.13.1 Método Marshall

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del departamento de carreteras del estado de Mississippi.

Gráfico N° 9. Máquina de Marshall.



Fuente.- www.topoequipos.com

El método Marshall fue desarrollado en un principio para mezclas asfálticas en caliente y para mezclas que contengan una granulometría con tamaño máximo a 25mm debido a las exigencias que se presentan a través del pasar del tiempo el método modificado Marshall permite el diseño de mezclas asfálticas con agregados de tamaño máximo arriba de 38mm.

El método puede ser usado para diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentos, el objetivo de este método es obtener la cantidad de agregados necesarios para satisfacer las especificaciones requeridas garantizando un pavimento durable. [9]

Las principales características de este método es la densidad – análisis de vacíos, estabilidad, deformación compactada de la probeta.

2.1.13.1.1 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

Para la determinación, se tomará en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos. [9]

- El Porcentaje de Cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico.
- El Porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% de índice de vacíos.
- El Porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad.

Tabla N° 8. Criterios de diseño para mezclas Marshall.

criterio de Mezcla	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado		Muy pesado	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Número de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75		75	
Estabilidad en libras	750		1200		1800		2200	
Flujo en centésimas de pulgada	8	18	8	16	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75	65	75
Relación Filler/ Betún					0,8	1,2	0,8	1,2
Porcentaje de vacíos en agregados minerales	Ver Tabla N°39							

Fuente: Folleto pavimentos de la facultad de ingeniería civil de la UTA

2.1.13.1.2 Tráfico TPDA

La clasificación del tráfico está en función del tráfico promedio diario anual (TPDA) de los vehículos pesados esperada por el carril de diseño en el momento de poner en función la vía, luego de su construcción o de su rehabilitación. Los vehículos pesados no comprenden autos, camiones ni tractores sin remolque. [9]

Livianos Menores de 50 vehículos

Medio 50 a 200 vehículos

Pesados 200 a 1000 vehículos

Muy pesados Más de 1000 vehículos

2.1.13.2 Método de Hubbard Field

Este método fue uno de los primeros en ser utilizados para el análisis de mezclas asfálticas en caliente, este método es aplicable en mezclas asfálticas de granulometría pequeña con material bituminoso y no es efectivo en mezclas de granulometría gruesa además que analiza el contenido de vacíos y agregado mineral. [22]

2.1.13.3 Método de Hveem

Los conceptos del método Hveem de diseño de mezclas de pavimentos fueron desarrollados por Francis N. Hveem ingeniero de materiales e investigación, como la división de carreteras de California. Evalúa parámetros como la densidad, estabilidad pseudotriaxial y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por presencia de agua. Este método presenta dos ventajas que es la compactación por amasado y el parámetro de resistencia. [22]

2.2 HIPÓTESIS

La incorporación de fibras celulares en las mezclas asfálticas mejorará la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

1.3.1 Variable independiente

La incorporación de fibras celulares en la mezcla asfáltica.

1.3.2 Variable dependiente

Estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo tiene un nivel de investigación: exploratoria y descriptivo.

Nivel exploratorio:

A nivel exploratorio; porque los pavimentos con fibras no se han producido en el país debido a que no existen investigaciones que sustenten la utilización de estos tipos de pavimentos ecológicos y más duraderos. Este trabajo se basará en la toma de datos y comparaciones de los mismos con el pavimento tradicional.

Nivel descriptivo:

A nivel descriptivo ya que al culminar la investigación se contará con datos los cuales proporcionarán una estadística del pro y los contras para la utilización de este tipo de pavimentos asfálticos.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRAS

La investigación se sustentará en la elaboración de 3 briquetas por cada pavimento asfáltico preparada en el laboratorio posteriormente siendo ensayadas, para mayor facilidad de cálculo y análisis de resultados se tomarán los testigos tomando en consideración el método de Marshall.

3.3 OPERACIONLIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

La incorporación de fibras celulosas en la mezcla asfáltica.

Conceptualización	Dimensiones	Indicaciones	Ítems	Técnicas e instrumentos
El pavimento asfáltico con fibras celulosas es una mezcla en caliente que se caracteriza por ser impermeable estable, durable y resistente a la formación de roderas.	Mezcla asfáltica	Estabilidad y deformación	¿Qué dosificación garantiza buena estabilidad y deformación?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ensayos de Laboratorio ➤ Normas INEN Y ASTM.
	Fibras celulosas	Calidad	¿Qué características deben tener las fibras a ser utilizadas?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Investigación Bibliográfica y experimental
		Cantidad	¿Qué normas y porcentajes óptimos para elaborar la mezcla asfáltica?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bibliográfico ➤ Laboratorio

3.3.2 Variable dependiente

Estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La Estabilidad es la propiedad del pavimento asfáltico relacionada a la capacidad de soportar cargas producidas por el tránsito.	Ensayo Marshall	Equipo materiales	¿Qué equipos y materiales se usaran para la elaboración de las briquetas?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ensayos de laboratorio ➤ Normas INEN, ASTM
		Muestreo	¿Cuál es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Normas INEN, ASTM ➤ Experimentación
La deformación está indicada por la disminución del diámetro vertical de la briqueta, lo que indica la deformación producida por las cargas de tránsito.	Comparación de resultados de los distintos Pavimentos	Tabulación de resultados	¿Cuál será el porcentaje de cemento asfáltico para lograr la máxima estabilidad?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Códigos ➤ Bibliográficos ➤ Laboratorio

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
¿Qué evaluar?	Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimentos asfálticos tradicionales.
¿Sobre qué evaluar?	Sobre briquetas de mezclas asfálticas con fibras celulósicas y mezclas asfálticas tradicionales.
¿Sobre qué aspecto?	Comparación de la estabilidad y deformación frente al asfalto tradicional.
¿Quién?	Cristian Elías Jiménez Rojano
¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none">➤ Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato➤ Laboratorios de mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales del GAD Municipal de Ambato.
¿Cómo?	Mediante investigación bibliográfica y ensayos de probetas

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para realizar un correcto análisis de la estabilidad, deformación y posterior comparación del pavimento asfáltico tradicional y pavimento asfáltico con fibras, se elaborarán briquetas con 5%, 5,5%, 6%, 6.5%, 7% de cemento asfáltico conforme el

método Marshall para diseño de mezclas bituminosas asfálticas, Norma AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225, siendo 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico.

Para los pavimentos asfálticos con fibras celulósicas, se elaborará 3 briquetas para cada porcentaje de cemento asfáltico con un total de fibra equivalente al 0,3%, del peso seco de los agregados.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En este capítulo se realizó la recolección de datos y presentación de resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados a los materiales que conforman el pavimento asfáltico tradicional, siendo los agregados (grueso, fino, filler) los principales componentes debiendo cumplir las normas establecidas, además de establecer los parámetros que debe cumplir la fibra de coco para ser utilizada como agente estabilizador en el pavimento asfáltico con fibras celulósicas.

Fuente de los agregados

Para la realización del ensayo se procedió a tomar muestras de los agregados de la planta de asfalto JEAL CONSTRUCTORES ubicada en el sector de La Península de la Ciudad de Ambato.

4.1.1 Ensayos realizados a los agregados

Agregado grueso

- Análisis granulométrico
- Gravedad específica
- Ensayo de desgaste

Agregado fino

- Análisis granulométrico
- Gravedad específica



Fibras de coco

- Análisis granulométrico

4.1.1.1 Ensayo N°1. Análisis granulométrico de los agregados

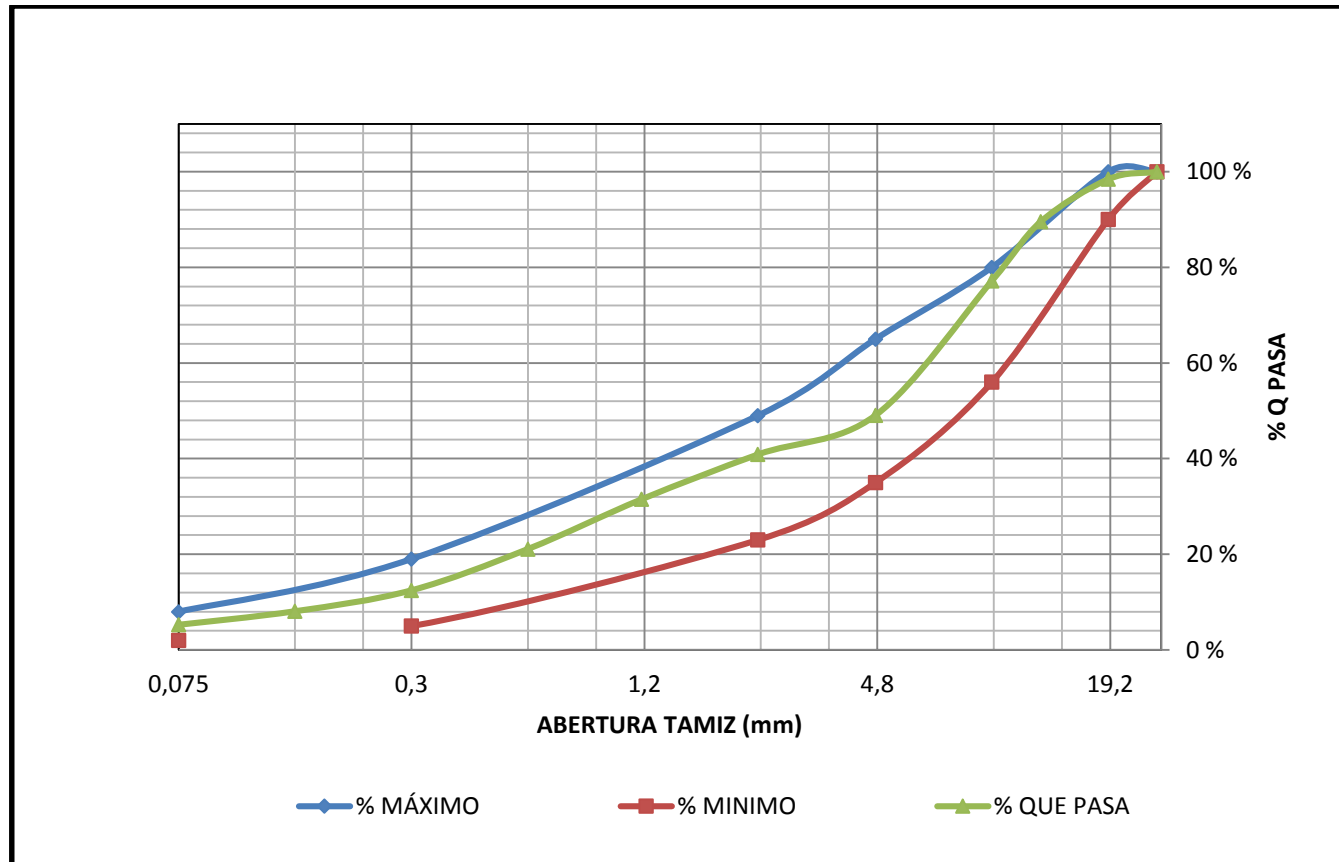
La granulometría del agregado se determinó tomando una muestra para posteriormente ser tamizada en la cual se determinó el porcentaje en peso retenido por cada tamiz cumpliendo La Norma ASTM C 136 y especificaciones MTOP.

Tabla N° 9. Granulometría del agregado.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”						
ORIGEN:		JEAL CONSTRUCTORES				
PESO MUESTRA (gr):		1200 gr	% DE ASFALTO			
REALIZADO POR:		Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:		25/07/2016	
NORMA:		MOP-001-F 2002				
SITIO:		LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES DEL GADM AMBATO				
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO						
Tamices		Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% que pasa	Límite MOP-001-F 2002
N°	mm					
1"	25,4	0	0	0,00	100	100
3/4"	19	18,64	18,639	1,55	98,45	90 - 100
1/2"	12,7	106,61	125,246	8,88	89,56	--
3/8"	9,5	148,33	273,572	12,36	77,20	56 - 80
#4	4,75	337,59	611,167	28,13	49,07	35 - 65
#8	2,36	98,22	709,385	8,18	40,88	23 - 49
#16	1,18	112,53	821,916	9,38	31,51	--
#30	0,6	124,78	946,699	10,40	21,11	--
#50	0,3	103,60	1050,295	8,63	12,48	5 - 9
#100	0,15	52,55	1102,845	4,38	8,10	--
#200	0,075	33,93	1136,777	2,83	5,27	2 - 8
Bandeja		63,22	1200,000	5,27	0,00	
TOTAL		1200				

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Gráfico N° 10. Curva granulometría del agregado.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.1.2 Ensayo N°2. Densidades de los agregados

4.1.1.2.1 Determinación de la densidad relativa (Gravedad específica) del agregado fino.

La Norma INEN 856 y AASHTO T84 proporciona el procedimiento a realizar en el ensayo con el fin de obtener la gravedad específica y la densidad del agregado.

1. Sumergir en agua durante $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ una muestra previamente lavada y secada.
2. Se retira la muestra del agua y se procede a extender el agregado sobre una superficie plana no absorbente expuesta a aire caliente hasta conseguir que la muestra este S.S.S.
3. Pesar 50gr de la muestra S.S.S par posteriormente colocarla en el picnómetro con agua.
4. Expulsar el aire que se encuentra en el interior girando el picnómetro hasta comprobar que no existan burbujas en el interior para posteriormente llenarlo nuevamente con agua hasta la marca de aforo y pesarlo.



Gráfico N° 11. Expulsión de aire del picnómetro.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

5. Finalmente, la muestra se coloca en un recipiente y se seca al horno y se determina nuevamente su masa.
6. Utilizando los valores de masas obtenidos y mediante las fórmulas de este método, es cálculo la densidad relativa y la absorción. [18]

Tabla N° 10. Densidad real del agregado fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”			
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCTORA		
PESO MUESTRA:	50gr		
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	18/07/2017
NORMA:	NTE INEN 856		
SITIO:	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM - UTA		
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO			
PROCESO	DENOMINACION	UNIDAD	DATOS
Masa del picnómetro	m1	gr	174,2
Masa del picnómetro + agregado (sss)	m2	gr	223,9
Masa del picnómetro + agregado (sss) + agua	m3	gr	699,6
Masa agua añadida	$m4 = m3 - m2$	gr	475,7
Masa del picnómetro + 500cc de agua	m5	gr	670,7
Masa de 500cc de agua	$m6 = m5 - m1$	gr	496,5
temperatura del agua	m7	gr	17,00
Factor corrección	m8	Da	0,998
Masa del agua desalojada por la muestra	$m9 = m6 - m4$	gr	20,8
Masa del agregado	$m10 = m2 - m1$	Mss	49,7
Vol. de agua desalojada	$m9/Da$	gr	20,84
Masa del agregado después de 24hrs en el horno	m11	gr	49,2
DENSIDAD DEL ARENA	DRA	gr/cm3	2,385
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	$CA = ((m10 - m11) / m11) * 100$	%	1,016

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.1.2.2 Determinación de la densidad real (Gravedad específica) del agregado grueso.

La norma INEN 875 y ASTM C 127 proporciona el procedimiento a realizar en el ensayo con el fin de obtener la gravedad específica y la densidad de una muestra de agregado grueso.

1. Se sumerge en agua durante $24h \pm 4h$, una muestra previamente lavada y secada.
2. Luego de transcurrido el tiempo descrito anteriormente se retira el agregado del agua para posteriormente ser secada superficialmente con una franela y determinar su masa.
3. Determinar los volúmenes de la muestra en aire y en agua con la canastilla.



Gráfico N° 12. Pesos canastilla más agregados.



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

4. Utilizando los valores calcular lo requerido mediante las fórmulas de este método.[19]

Tabla N° 11. Densidad real del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”			
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCTORA		
PESO MUESTRA (gr):	1899gr		
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	21/07/2016
NORMA:	NTE INEN 857		
SITIO:	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM - UTA		
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO			
PROCESO	DENOMINACION	UNIDAD	DATOS
Masa canastilla en el aire	m1	gr	1256
Masa de la canastilla en el agua	m2	gr	1114,00
Masa del agregado S.S.S en aire	m3= m4 - m1	gr	1898,00
Masa canastilla + Agregado S.S.S en el aire	m4	gr	3154,00
Masa de la canastilla + Agregado S.S.S en el agua	m5	gr	2205,00
Masa del agregado S.S.S en agua	m6= m5 - m2	gr	1091,00
Densidad real del agua	DRA	gr/cm3	1
Masa del agregado después de 24hrs en el horno	m7	gr	1858,9
Volumen del agregado	$VR=(m5 - m6)/DRA$	cm3	807
DENSIDAD DEL RIPIO	$DR=m3/VR$	gr/cm3	2,352
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	$CA=((m3-m7)/m7)*100$	%	2,103

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.1.3 Ensayo N°3.- Abrasión o desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los Ángeles Norma INEN 860 Y ASTM C131.

En esta norma se establece el ensayo para determinar el valor de degradación que sufren los agregado grueso como índice de calidad del mismo.

1. Colocar una muestra aproximada de 5000 ± 10 gr previamente lavada y secada.
2. Colocarla dentro de la máquina de los Ángeles de acuerdo con la normativa y la gradación utilizada y girar la máquina 500 revoluciones a velocidad entre 30 r/min y 33 r/min.

Gráfico N° 13. Desgaste del agregado



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

3. Finalmente, se retira el material de la máquina para posteriormente ser tamizada, desechar el material que pasa el tamiz N°10, determinar las masas con aproximación.

$$\%Desg. = \left(\frac{A - B}{A} \right) * 100$$

Dónde:

A= Masa antes del ensayo.



B= Masa retenida en el tamiz N°10

Tabla N° 12. Gradación de la muestra para ensayo.

DIÁMETRO				MÉTODO		
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	Peso	Unidad
N°	"mm"	N°	"mm"			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25	1250	gr
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25	1255	gr
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	1251	gr
1/2	12,50	3/8	9,59	1250 ± 10	1255	gr
3/8	9,59	1/4	6,25			
1/4	6,25	N°4	4,76			
N°4	4,76	N°8	2,38			
Masa Total a Ensayar					5011	gr

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Tabla N° 13. Desgaste del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”			
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCTORA		
PESO MUESTRA (gr):	5011gr		
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	24/08/2016
NORMA:	NTE INEN 860		
SITIO:	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES FICM - UTA		
DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DEL ÁRIDO GRUESO POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES			
PROCESO	DENOMINACION	UNIDAD	DATOS
Masa total a ser ensayada	A	gr	5011
Masa desgastada	B	gr	3534
Masa perdida por desgaste	C=A - B	gr	1477
Desgaste del agregado	$D=(C/A)*100$	%	29,48

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.2 Diseño de la mezcla asfáltica

Método Marshall

El procedimiento para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico por medio del método de Marshall consiste en la elaboración de 3 a 4 briquetas con diferentes contenidos de cemento asfáltico con incrementos de 0,50%, en una serie de 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

4.1.2.1 Elaboración de briquetas

Con las especificaciones granulométricas proporcionada por la Norma ASTM D 3515 y especificaciones MTOP se procedió a realizar el mezclado correspondiente para cada grupo de probetas con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico.

Materiales y Equipos utilizados

Materiales:

Agregado grueso.- Agregado que se obtiene mediante la trituración de piedra en planta correspondiente al agregado retenido por el tamiz N° 4.

Agregado fino.- Agregado obtenido de la pulverización de la piedra en la trituradora correspondiente al agregado que pasa el tamiz N°4 y retiene el tamiz N°200.

Filler.- material que pasa el tamiz N°200

Cemento asfáltico.-Producto obtenido en la refinación del producto de característica viscosa con propiedades cementantes.

Gráfico N° 14. Materiales utilizados.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Equipos:

Los equipos utilizados para los distintos ensayos a realizar son:

Gráfico N° 15. Equipos utilizados.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Juego de tamices para separar los agregados para lograr una gradación adecuada.
- Recipientes para colocar los agregados retenidos por cada tamiz.
- Horno para calentar los agregados.
- Mechero para calentar el asfalto a la temperatura requerida.
- Termómetro digital.
- Bandeja metálica para preparar un mezclado uniforme de la mezcla asfáltica.
- Moldes cilíndricos con collar de detención en una placa base.

- Martillo de compactación normalizado.
- Extractor de probetas.

4.1.2.2 Cálculo del porcentaje óptimo teórico.

Par poder tener una idea del porcentaje óptimo de cemento asfáltico necesario para la elaboración de la mezcla asfáltica, se debe tomar en cuenta ciertas expresiones que proporcionan un porcentaje de cemento asfáltico siendo este una referencia significativa a la hora de realizar un diseño:

4.1.2.2.1 Método del Instituto del Asfalto

$$\%CA = 0,035*a + 0,045*b + k *c + f$$

Dónde:

%CA= % óptimo teórico de cemento asfáltico.

a= % retenido > tamiz N° 8.

b= % de material entre el tamiz N°8 – N°200

c= % de material < al tamiz N°200

k= 0,15 si “c” esta entre 11 y 15%

k= 0,16 si “c” esta entre 6 y 19%

k= 0,20 si “c” <5%

f= entre 0,0 y 2,0 según la absorción

Denominación	% de Material
a	59,115
b	35,616
c	5,269
k	0,16
f	1,35

$$\%CA = 0,035*59,115 + 0,045*35,616 + 0,16 * 5,269 + 1,35$$

$$\%CA = 5,86\%$$

Este valor proporciona un porcentaje del cual debemos realizar las briquetas con 2% menos de cemento asfáltico y 2% más de cemento asfáltico el cual comenzaremos desde 6% de cemento asfáltico.

4.1.2.3 Preparación de probetas método Marshall

Para la elaboración de las probetas la Norma I.N.V.E – 749 – 7 señala los pasos a seguir para la toma de probetas.

- La elaboración de la probeta empieza con el tamizado y pesado de los agregados con una correcta gradación de materiales grueso y fino.
- Para un correcto análisis de dichas probetas se elaboró 3 probetas con diferentes contenidos de asfalto con incrementos de 0,5.
- El pesado de los agregados se los realizó procurando que la curva granulométrica esté en los límites de la normativa y el peso de esta sea igual a 1200g para cada probeta.
- El mezclado comienza con el calentado de la masa de los agregados hasta llegar a la temperatura óptima de mezclado, posteriormente siendo añadido el cemento asfáltico en la proporción tomada en cuenta para la mezcla.

Gráfico N° 16. Mezclado de los agregados.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Continuando con el moldeado de la probeta se colocó el collar en el horno a una temperatura de 93°C para que en el momento en que se desee utilizar se encuentre en condiciones óptimas para ser utilizada.
- En el siguiente paso se debe armar el conjunto del molde previamente limpiado y engrasado, para posteriormente ser vertido la mezcla en el molde cuidando que la mezcla se encuentre uniformemente mezclada.
- A continuación de colocada la mezcla en el molde metálico se golpeó con una espátula fina fuertemente 15 golpes en los bordes del molde y 10 en la parte central.
- Se enrasa la parte superior, se coloca el papel filtro y se procede a realizar el proceso de compactación aplicando 50 o 75 golpes por cada cara de la probeta procurando que el martillo se encuentre de forma perpendicular a la base del molde.

Gráfico N° 17. Moldeado de probetas



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Una vez realizadas la compactación se retira el collarín, el molde y se deja enfriar.

Gráfico N° 18. Probetas moldeadas



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Finalmente, luego de permanecer 1 hora enfriándose se retirarán la briqueta de los moldes para su posterior ensayo.

4.1.3 Ensayos y tabulación de datos realizados a las probetas

4.1.3.1 Gravedad específica de la combinación de agregados.

Cuando los ensayos para determinación de la gravedad específica, son realizados por separado (Grueso y Fino) el valor de la gravedad específica se debe calcular con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

G = Gravedad específica promedio

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

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

Tabla N° 14. Porcentaje de agregado grueso y fino.

Agregado	Tamices		Retenido Parcial (gr)	% En Peso	% Peso de cada Agregado
	N°	mm			
Grueso	1"	25,4	0	611,17	50,93
	3/4"	19	18,64		
	1/2"	12,7	106,61		
	3/8"	9,5	148,33		
	#4	4,75	337,59		
Fino	#8	2,36	98,22	588,83	49,07
	#16	1,18	112,53		
	#30	0,6	124,78		
	#50	0,3	103,60		
	#100	0,15	52,55		
	#200	0,075	33,93		
	Bandeja		63,22		
TOTAL			1200	1200	100%

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

$$G = \frac{50,93 + 49,07}{\frac{50,93}{2,352} + \frac{49,07}{2,385}}$$

$$G = 2,368$$

4.1.3.2 Gravedad específica Bulk de la probeta compactada (G).

Este ensayo se lo realiza para determinar la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada por medio del peso obtenido en seco en aire, S.S.S. en aire, y sumergido en agua.

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

Dónde:

G= Gravedad específica Bulk de la briqueta compactada.

D= Masa briqueta seco en aire.

E= masa briqueta saturado superficie seca.

F= Masa briqueta sumergida en agua.

$$G = \frac{1117,7}{1117,7 - 615,5} = 2,215$$

Tabla N° 15. Promedio de pesos específicos “Bulk”.

BRIQUETA	PESO ESPECÍFICO “Bulk”
1,1	2,215
1,2	2,164
1,3	2,155
Promedio	2,178

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.3.3 Peso específico máximo teórico de la briqueta (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 agregado carente de vacíos con aire.[9]

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

Dónde:

% Agreg = Porcentaje de agregado seco.

Gagr = Gravedad específica del agregado.

% CA = Porcentaje de asfalto.

Gasf = Gravedad específica del asfalto.

$$H = \frac{100}{\frac{0,95}{2,368} + \frac{0,05}{1,0239}}$$

$$H = 2,223$$

4.1.3.4 Ensayo N°4. Gravedad específica máxima medida de la mezcla asfáltica método Rice Norma ASTM D 2041.

Este ensayo se utiliza para determinar la cantidad real de vacíos que posee la mezcla asfáltica compactada.

1. El ensayo consiste en tomar la muestra de la mezcla asfáltica, segregarla hasta que todas las partículas se encuentren sueltas tomando la precaución de que no exista el fracturamiento de las partículas.
2. Pesar del picnómetro de vacíos solo y el picnómetro de vacíos más muestra.
3. Colocar la muestra segregada en el picnómetro de vacíos, posteriormente llenarla con agua las $\frac{3}{4}$ remover manualmente durante 5 minutos, nuevamente llenar con agua.

4. A continuación se la somete a la extracción de burbujas de aire por medio de la bomba de vacíos durante 15 ± 2 min.



Gráfico N° 19. Remoción de burbujas de aire.



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

5. Finalmente, se llena con agua el picnómetro de vacíos procurando que queden burbujas en su interior y toma su peso en conjunto.

Tabla N° 16. Densidad teórica Rice.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”			
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCTORA		
PESO MUESTRA (gr):		CONTENIDO DE ASFALTO:	5,0%
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	29/082016
NORMA:	ASTM D 2041		
SITIO:	LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES DEL GADM AMBATO		
DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MÉTODO RICE			
PROCESO	DENOMINACION	UNIDAD	DATOS
Peso frasco + agua a 25°C	D	gr	7406,5
Peso del picnómetro	A	gr	2903,2
Peso del picnómetro + muestra	B	gr	3932,3
Peso muestra	C = B - A	gr	1029,1
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	E	gr	7994,7
Gmm = C/C-(E-D)			2,334

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.3.5 Porcentaje de asfalto absorbido (J)

Es el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado seco, se calcula mediante la siguiente expresión.

$$J = \frac{(I - H) \times 10^4}{I \times H \times \% \text{ Agreg}}$$

Dónde:

J= % Asfalto absorbido.

I= Valor ensayo Rice.

H= Gravedad específica teórica.

% Agreg = Porcentaje de agregado seco.

$$J = \frac{(2,334 - 2,223) \times 10^4}{2,334 \times 2,223 \times 0,95}$$

$$J = 0,542$$

4.1.3.6 Volumen ocupado por el agregado con respecto a la probeta (K)

$$K = \frac{\% \text{ Agreg} \times G}{G_{agr}}$$

Dónde:

% Agreg = Porcentaje de agregado seco.

G= Gravedad específica Bulk de la briqueta compactada.

G_{agr}= Gravedad específica del agregado.

$$K = \frac{0,95 \times 2,178}{2,462}$$

$$K = 84,051$$

4.1.3.7 Volumen de vacíos en aire (L)

$$L = \left(1 - \frac{G}{I}\right) \times 100$$

Dónde:

G= Gravedad específica Bulk de la briqueta compactada.

I= Gravedad específica de la mezcla asfáltica método Rice.

$$L = \left(1 - \frac{2,178}{2,328}\right) \times 100$$

$$L = 6,433$$

4.1.3.8 Volumen de asfalto efectivo (M)

$$M = 100 - K - L$$

Dónde:

K= Volumen ocupado por el agregado con respecto a la probeta.

L= Volumen de vacíos en aire.

$$M = 100 - 84,051 - 6,433$$

$$M = 9,516$$

4.1.3.9 Volumen de vacíos en el agregado mineral (N).

$$N = 100 - K$$

Dónde:

K= Volumen ocupado por el agregado con respecto a la probeta.

$$N = 100 - 84,051$$

$$N = 15,949$$

4.1.3.10 Porcentaje del contenido de asfalto efectivo (O)

$$\%CA = \frac{J \times \% \text{ Agreg}}{100}$$

Dónde:

J= Porcentaje absorbido de asfalto.

%Agreg= Porcentaje de agregado seco.

$$0,05 = \frac{0,542 \times 0,95\%}{100}$$

$$\%CA = 4,486$$

4.1.3.11 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (P)

$$P = \frac{N - L}{N} \times 100$$

Dónde:

N= Volumen de vacíos en agregado mineral.

L= Volumen de vacíos en aire.

$$P = \frac{15,949 - 6,433}{15,949} \times 100$$

$$P = 59,67$$

4.1.4 Ensayo N°5. estabilidad y deformación Marshall

Una vez tabulado los datos anteriormente mencionados se procede a ensayar las probetas mediante la máquina Marshall, la cual debe estar proporcionada de las mordazas y el medidor de deformación por medio del cual se obtuvo los valores de la estabilidad y el flujo de la probeta.

1. Previo al ensayo en la máquina Marshall se debe colocar las probetas en una baño de agua María a una temperatura $60^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por un tiempo estimada de 30 a 40 minutos.
2. Mientras transcurre el tiempo necesario en el baño agua María se encera y se limpiará las mordazas de modo que estas se deslicen libremente.
3. Una vez cumplido el tiempo en las condiciones mencionada, se retira del baño agua María se coloca la briqueta en la mordaza de tal forma que esta quede en el centro de la mordaza.
4. Se aplicará la carga de forma continua hasta que la briqueta sufra la falla o el medidor llegue a la máxima estabilidad, de igual manera se anota el flujo máximo.

Gráfico N° 20. Fallo de la briqueta



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

5. Finalmente, se tabula los datos obtenidos en el ensayo para un correcto análisis.

4.1.4.1 Corrección de estabilidad por altura de la briqueta.

Una vez finalizado los ensayos realizados en las briquetas, de ser necesario se realizarán la corrección de la estabilidad por altura de la briqueta para lo cual se usó la siguiente tabla.

Tabla N° 17. Factores de corrección de la estabilidad.

Factores de corrección para la estabilidad							
Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.
31,5	3,902	36,0	3,124	40,5	2,385	45,0	1,879
31,6	3,884	36,1	3,105	40,6	2,371	45,1	1,871
31,7	3,867	36,2	3,086	40,7	2,356	45,2	1,863
31,8	3,850	36,3	3,068	40,8	2,342	45,3	1,855
31,9	3,833	36,4	3,049	40,9	2,328	45,4	1,847
32,0	3,815	36,5	3,030	41,0	2,313	45,5	1,839
32,1	3,798	36,6	3,014	41,1	2,299	45,6	1,831
32,2	3,780	36,7	2,999	41,2	2,284	45,7	1,823
32,3	3,763	36,8	2,983	41,3	2,270	45,8	1,814
32,4	3,745	36,9	2,968	41,4	2,258	45,9	1,806
32,5	3,728	37,0	2,952	41,5	2,246	46,0	1,798
32,6	3,710	37,1	2,936	41,6	2,234	46,1	1,790
32,7	3,693	37,2	2,921	41,7	2,223	46,2	1,782
32,8	3,675	37,3	2,905	41,8	2,211	46,3	1,774
32,9	3,658	37,4	2,889	41,9	2,199	46,4	1,766
33,0	3,640	37,5	2,874	42,0	2,187	46,5	1,758
33,1	3,623	37,6	2,858	42,1	2,175	46,6	1,750
33,2	3,605	37,7	2,843	42,2	2,163	46,7	1,742
33,3	3,588	37,8	2,827	42,3	2,151	46,8	1,734
34,4	3,570	37,9	2,811	42,4	2,139	46,9	1,726
33,5	3,554	38,0	2,796	42,5	2,128	47,0	1,718
33,6	3,538	38,1	2,78	42,6	2,116	47,1	1,710
33,7	3,522	38,2	2,763	42,7	2,104	47,2	1,702
33,8	3,506	38,3	2,745	42,8	2,092	47,3	1,694
33,9	3,490	38,4	2,728	42,9	2,080	47,4	1,686
34,0	3,474	38,5	2,710	43,0	2,070	47,5	1,678
34,1	3,458	38,6	2,693	43,1	2,060	47,6	1,670
34,2	3,442	38,7	2,675	43,2	2,050	47,7	1,663
34,3	3,426	38,8	2,658	43,3	2,040	47,8	1,656
34,4	3,410	38,9	2,640	43,4	2,030	47,9	1,649
34,5	3,394	39,0	2,623	43,5	2,020	48,0	1,643
34,6	3,378	39,1	2,605	43,6	2,010	48,1	1,636
34,7	3,362	39,2	2,588	43,7	2,000	48,2	1,629
34,8	3,346	39,3	2,570	43,8	1,990	48,3	1,622
34,9	3,330	39,4	2,553	43,9	1,980	48,4	1,615
35,0	3,311	39,5	2,535	44,0	1,970	48,5	1,608
35,1	3,293	39,6	2,517	44,1	1,960	48,6	1,601
35,2	3,274	39,7	2,500	44,2	1,950	48,7	1,594
35,3	3,255	39,8	2,486	44,3	1,940	48,8	1,588
35,4	3,236	39,9	2,471	44,4	1,930	48,9	1,581
35,5	3,218	40,0	2,457	44,5	1,920	49,0	1,574
35,6	3,199	40,1	2,443	44,6	1,912	49,1	1,567
35,7	3,180	40,2	2,428	44,7	1,904	49,2	1,560
35,8	3,161	40,3	2,414	44,8	1,896	49,3	1,554
35,9	3,143	40,4	2,399	44,9	1,888	49,4	1,549

Factor de Corrección para la estabilidad							
Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor
(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.
49,5	1,543	54,0	1,320	58,5	1,149	63,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	58,6	1,146	63,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	58,7	1,143	63,2	1,008
49,8	1,526	54,3	1,307	58,8	1,140	63,3	1,005
49,9	1,521	54,4	1,303	58,9	1,137	63,4	1,003
50,0	1,515	54,5	1,298	59,0	1,134	63,5	1,000
50,1	1,509	54,6	1,294	59,1	1,131	63,6	0,998
50,2	1,504	54,7	1,289	59,2	1,128	63,7	0,995
50,3	1,498	54,8	1,285	59,3	1,124	63,8	0,993
50,4	1,493	54,9	1,281	59,4	1,121	63,9	0,990
50,5	1,487	55,0	1,276	59,5	1,118	64,0	0,988
50,6	1,481	55,1	1,272	59,6	1,115	64,1	0,985
50,7	1,476	55,2	1,268	59,7	1,112	64,2	0,983
50,8	1,470	55,3	1,263	59,8	1,109	64,3	0,980
50,9	1,465	55,4	1,259	59,9	1,106	64,4	0,978
51,0	1,460	55,5	1,254	60,0	1,103	64,5	0,975
51,1	1,455	55,6	1,250	60,1	1,099	64,6	0,973
51,2	1,450	55,7	1,246	60,2	1,096	64,7	0,970
51,3	1,445	55,8	1,243	60,3	1,093	64,8	0,968
51,4	1,440	55,9	1,239	60,4	1,090	64,9	0,965
51,5	1,435	56,0	1,235	60,5	1,087	65,0	0,963
51,6	1,430	56,1	1,231	60,6	1,084	65,1	0,960
51,7	1,425	56,2	1,228	60,7	1,081	65,2	0,958
51,8	1,420	56,3	1,224	60,8	1,078	65,3	0,956
51,9	1,415	56,4	1,220	60,9	1,074	65,4	0,954
52,0	1,410	56,5	1,218	61,0	1,071	65,5	0,953
52,1	1,405	56,6	1,213	61,1	1,068	65,6	0,951
52,2	1,400	56,7	1,209	61,2	1,065	65,7	0,949
52,3	1,395	56,8	1,205	61,3	1,062	65,8	0,947
52,4	1,390	56,9	1,201	61,4	1,059	65,9	0,945
52,5	1,386	57,0	1,198	61,5	1,056	66,0	0,943
52,6	1,381	57,1	1,194	61,6	1,053	66,1	0,941
52,7	1,377	57,2	1,190	61,7	1,049	66,2	0,939
52,8	1,373	57,3	1,187	61,8	1,046	66,3	0,938
52,9	1,368	57,4	1,184	61,9	1,043	66,4	0,936
53,0	1,364	57,5	1,181	62,0	1,040	66,5	0,934
53,1	1,359	57,6	1,178	62,1	1,037	66,6	0,932
53,2	1,355	57,7	1,174	62,2	1,035	66,7	0,930
53,3	1,351	57,8	1,171	62,3	1,032	66,8	0,928
53,4	1,346	57,9	1,168	62,4	1,029	66,9	0,925
53,5	1,342	58,0	1,165	62,5	1,027	67,0	0,923
53,6	1,338	58,1	1,162	62,6	1,024	67,1	0,920
53,7	1,333	58,2	1,159	62,7	1,021	67,2	0,918
53,8	1,329	58,3	1,156	62,8	1,019	67,3	0,915
53,9	1,324	58,4	1,153	62,9	1,016	67,4	0,913

Factor de corrección para la estabilidad							
Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor	Espesor	Factor
(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.	(mm)	Correcc.
67,5	0,910	69,7	0,864	71,9	0,825	74,1	0,790
67,6	0,908	69,8	0,862	72,0	0,824	74,2	0,788
67,7	0,905	69,9	0,860	72,1	0,823	74,3	0,786
67,8	0,903	70,0	0,858	72,2	0,821	74,4	0,784
67,9	0,900	70,1	0,856	72,3	0,820	74,5	0,782
68,0	0,898	70,2	0,854	72,4	0,819	74,6	0,780
68,1	0,895	70,3	0,853	72,5	0,818	74,7	0,779
68,2	0,893	70,4	0,851	72,6	0,816	74,8	0,778
68,3	0,890	70,5	0,849	72,7	0,815	74,9	0,776
68,4	0,888	70,6	0,847	72,8	0,814	75,0	0,775
68,5	0,886	70,7	0,845	72,9	0,813	75,1	0,774
68,6	0,884	70,8	0,843	73,0	0,811	75,2	0,773
68,7	0,883	70,9	0,841	73,1	0,810	75,3	0,771
68,8	0,881	71,0	0,839	73,2	0,808	75,4	0,770
68,9	0,879	71,1	0,838	73,3	0,806	75,5	0,769
69,0	0,877	71,2	0,836	73,4	0,804	75,6	0,768
69,1	0,875	71,3	0,834	73,5	0,802	75,7	0,766
69,2	0,873	71,4	0,832	73,6	0,800	75,8	0,765
69,3	0,871	71,5	0,830	73,7	0,798	75,9	0,764
69,4	0,869	71,6	0,829	73,8	0,796	76,0	0,763
69,5	0,868	71,7	0,828	73,9	0,794	76,1	0,761
69,6	0,866	71,8	0,826	74,0	0,792		

Fuente: ASTM T 245 79

Tabla N° 18. Ensayo Marshall realizado a las briquetas del pavimento asfáltico tradicional.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL"																			
Gagr:		2,369				Gasf:		1,0239				PERDIDA DE LA UESTRA (%)							
REALIZADO POR:		Cristian Elías Jiménez Rojano								FECHA:				16/08/2016					
DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO PROBETA (cm)	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm)			ASFALTO ABSORVIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES (VAM)	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulga/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{G_{agr}} + \frac{\%CA}{G_{asf}}}$	METODO RICE	$\frac{(J-H) \times 10^4}{IxHx\%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{G_{agr}}$	$\left(1 - \frac{C}{I}\right) \times 100$	100 - K-L	100 - K	$\%CA - \frac{Jx\%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			Q x R	
1,1	5%	6,23	1117,7	1120,2	615,6	2,215										4387	1,032	4527,38	9,9
1,2		6,30	1096,9	1100,3	593,5	2,164										4546	1,013	4605,10	4,3
1,3		6,92	1151,6	1154,5	620,2	2,155										4775	0,873	4168,58	11,5
PROMEDIO						2,178	2,223	2,334	2,252	87,350	6,673	5,976	12,650	2,860	47,24			4433,69	10,69
2,1	5,5%	5,98	1037,3	1038,1	568,6	2,209										4921	1,109	5457,39	11,4
2,2		7,12	1243,4	1245,9	688,6	2,231										6868	0,836	5741,65	10,4
2,3		6,87	1206,6	1209	664,7	2,217										6551	0,883	5784,53	7,6
PROMEDIO						2,219	2,209	2,327	2,421	88,520	4,637	6,843	11,480	3,212	59,61			5763,09	9,81
3,1	6%	6,15	1109,0	1109,3	616,1	2,249										6083	1,056	6423,65	10,3
3,2		6,40	1117,8	1118,3	620,6	2,246										5682	0,988	5613,82	11,4
3,3		6,38	1088,3	1088,9	601,4	2,232										5988	0,990	5928,12	8,6
PROMEDIO						2,242	2,196	2,315	2,492	88,973	3,140	7,887	11,027	3,657	71,52			5988,53	10,09
4,1	6,5%	6,63	1192,7	1193,4	658,6	2,230										5621	0,938	5272,50	14,0
4,2		6,50	1125,3	1126,4	626,3	2,250										5809	0,963	5594,07	4,8
4,3		6,70	1141,2	1141,3	639,1	2,272										5748	0,923	5305,40	7,7
PROMEDIO						2,251	2,183	2,309	2,682	88,839	2,516	8,645	11,161	3,992	77,46			5390,66	10,87
5,1	7%	6,31	1112,6	1113,5	624,9	2,277										5404	1,011	5463,44	12,6
5,2		6,40	1145,5	1147,8	633,3	2,226										4869	0,980	4771,62	1,8
5,3		6,32	1131,6	1132,7	628,6	2,245										5586	1,008	5630,69	12,9
PROMEDIO						2,249	2,169	2,296	2,731	88,307	0,174	11,519	11,693	4,460	98,51			5547,07	12,75

Nota: los valores remarcados con rojo no son tomados en cuenta debido que se encuentran fuera de foco

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.4.2 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

De la tabla se obtiene los valores máximos de la densidad Bulk, de la estabilidad, de la gráfica % de asfalto Vs. vacíos en aire, se tomará en cuenta el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al 4% de vacíos en aire con su respectivo contenido de asfalto ideal para la mezcla.

Tabla N° 19. Valores tomados en cuenta para contenido óptimo de asfalto.

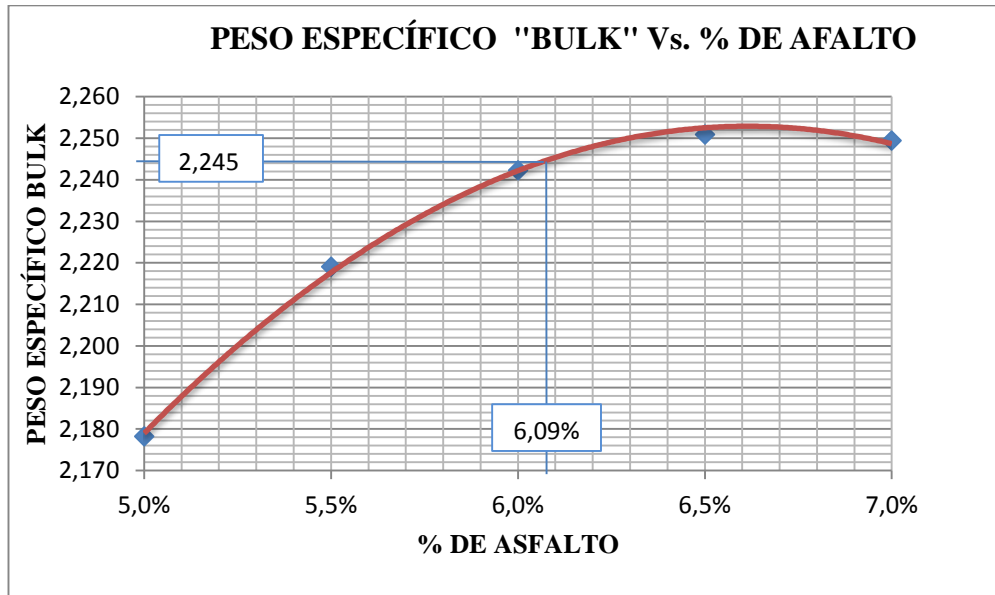
Datos	Valores máximos	% De Asfalto
% C.A. Para la máxima densidad Bulk	2,251	6,5
% C.A. Para la máxima estabilidad	5988,53	6
% C.A. Para 4% de vacíos	---	5,78
PROMEDIO		6,09%

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Con el valor calculado del cemento asfáltico óptimo se procedió a tomar los valores correspondientes en las curvas para dicho porcentaje de asfalto.

4.1.4.3 Gráficas de las propiedades Marshall de los pavimentos asfálticos tradicional.

Gráfico N° 21. Curva, Peso específico “Bulk” (G) Vs. % de asfalto (B)



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

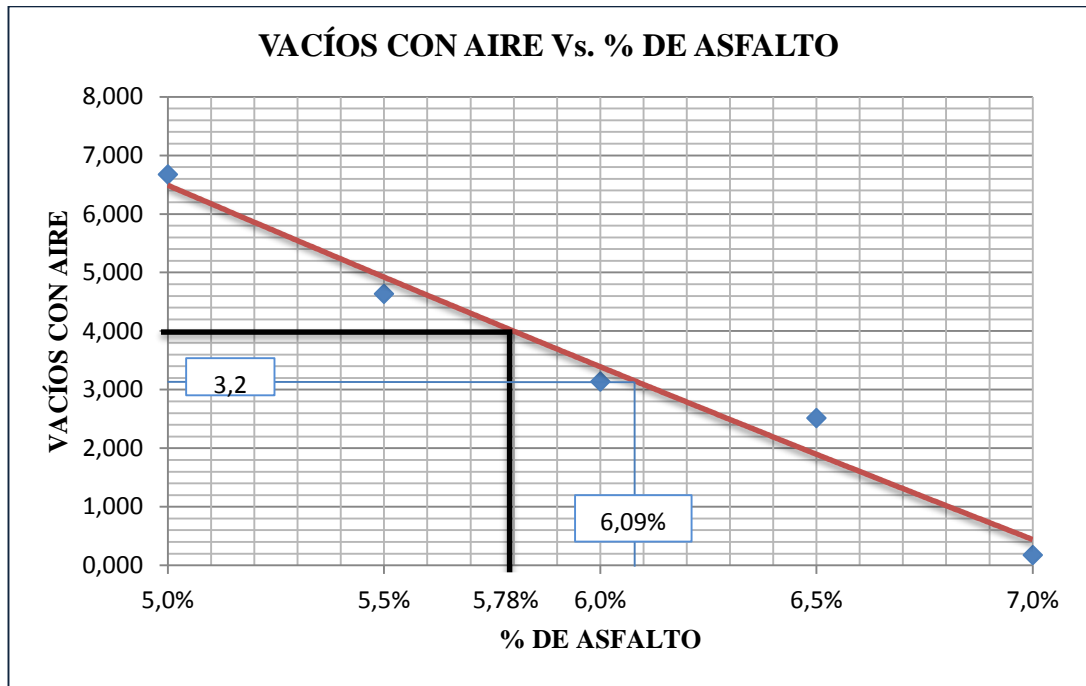
Tabla N° 20. Datos Peso específico “Bulk” Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	P.E."Bulk"
5%	2,178
5,5%	2,219
6%	2,242
6,5%	2,251
7%	2,249

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: Esta curva proporciona el peso específico “Bulk” óptimo para el diseño de la mezcla tomando en cuenta el porcentaje promedio obtenido con anterioridad de las gráficas, para el cual se tiene que para 6,09% de asfalto corresponde un peso específico “Bulk” igual a 2,245, el cual es menor al máximo obtenido en el ensayo de las probetas.

Gráfico N° 22. Curva, vacíos con aire (L) Vs. % de asfalto (B).



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

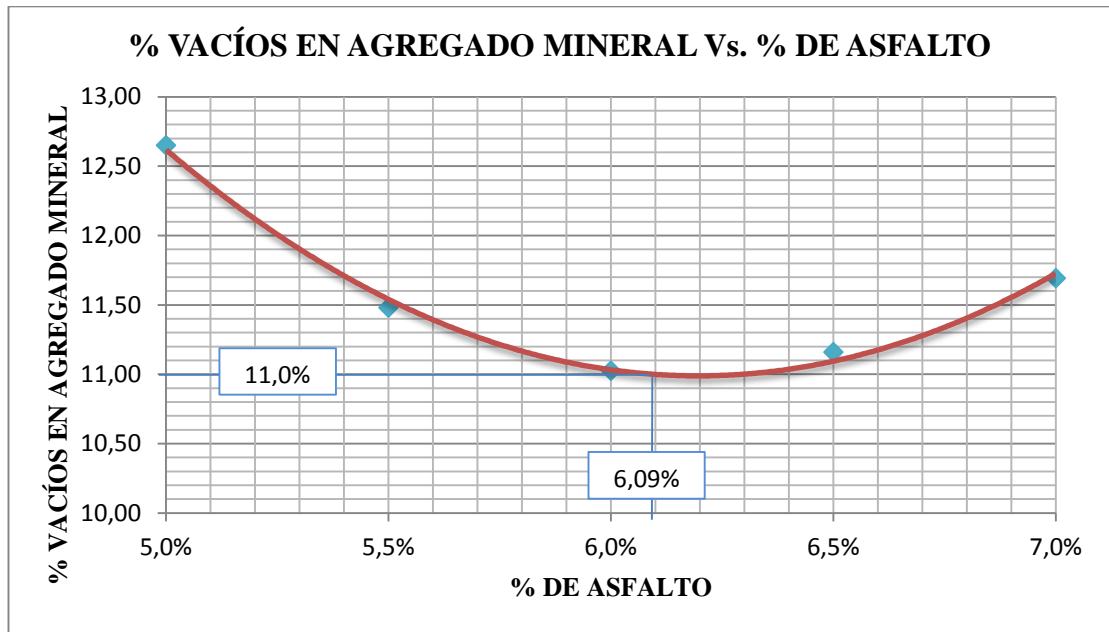
Tabla N° 21. Datos, vacíos en aire Vs % de asfalto.

% De Asfalto	Vacíos en aire
5%	6,673
5,5%	4,637
6%	3,140
6,5%	2,516
7%	0,174

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: Esta curva se puede observar que a mayor porcentaje de asfalto la cantidad de vacíos disminuye considerablemente de la cual se tomara el 4% de vacíos que corresponde al promedio del rango que nos proporciona la normativa para mezclas asfálticas, el valor obtenido del 4% de vacíos en aire corresponde a 5,78% de asfalto, así mismo se tomara el porcentaje de vacíos que corresponde para el valor óptimo de cemento asfáltico calculado.

Gráfico N° 23. Curva, % vacíos en agregado mineral (N) Vs. % de asfalto (B)



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

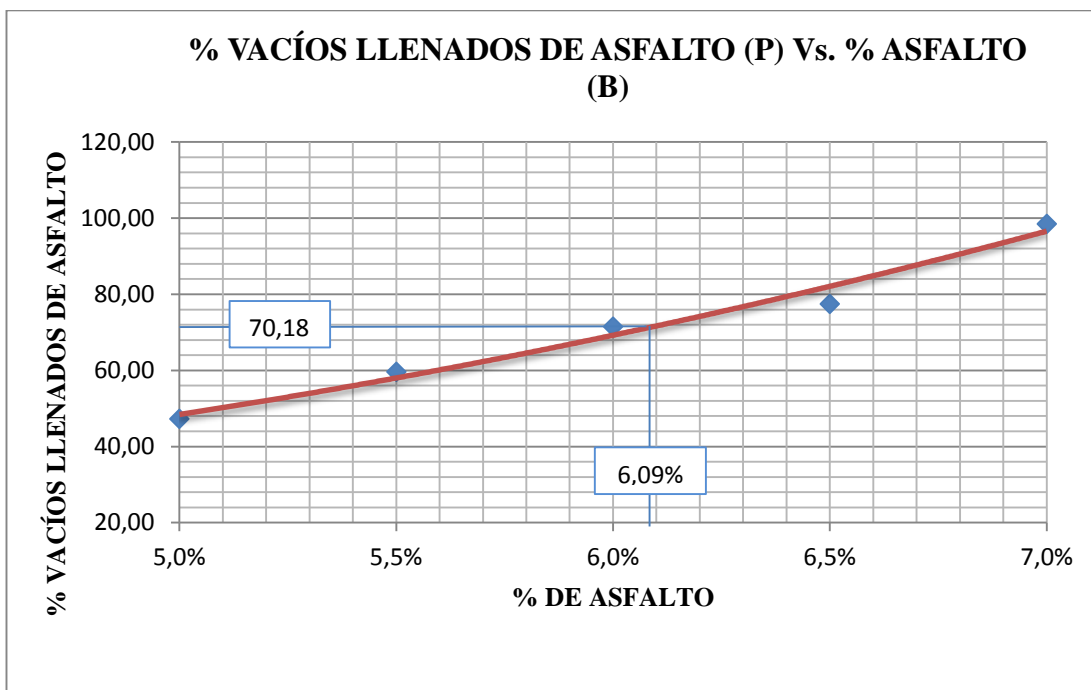
Tabla N° 22. Datos, V.A.M Vs. % C.A.

% De Asfalto	V.A.M.
5%	12,650
5,5%	11,480
6%	11,027
6,5%	11,161
7%	11,693

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: La gráfica se puede notar una curva en forma descendente - ascendente en la cual se pudo encontrar el porcentaje de vacíos en agregado mineral para un porcentaje de asfalto igual a 6,09%, el cual realizando el proceso de visualización se tiene que el porcentaje de vacíos en el agregado mineral es igual a 11,00.

Gráfico N° 24. Curva, % de vacíos llenos de asfalto (P) Vs. % de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

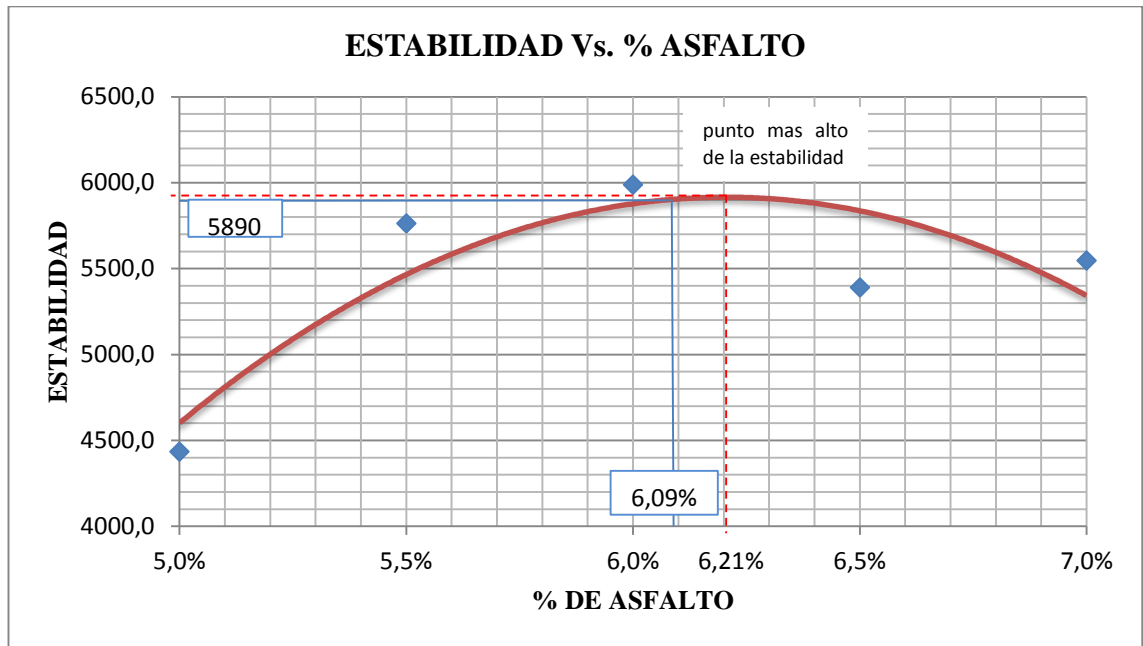
Tabla N° 23. Datos, vacíos llenos de asfalto Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	Vacíos llenos de asfalto
5%	47,244
5,5%	59,606
6%	71,524
6,5%	77,459
7%	98,510

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la curva polinómica porcentaje de asfalto Vs % de vacíos llenos de asfalto, se puede visualizar que a mayor porcentaje de asfalto, los vacíos llenos por el asfalto aumenta para lo cual hemos de comparar con el porcentaje óptimo obtenido que es igual a 6,09% de acuerdo a ciertos criterios de estabilidad, vacíos en aire y peso específico, en la cual de la curva se ha determinado un porcentaje de vacíos llenos de asfalto es igual a 70,18.

Gráfico N° 25. Curva, estabilidad (S) Vs. % de asfalto (B)



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

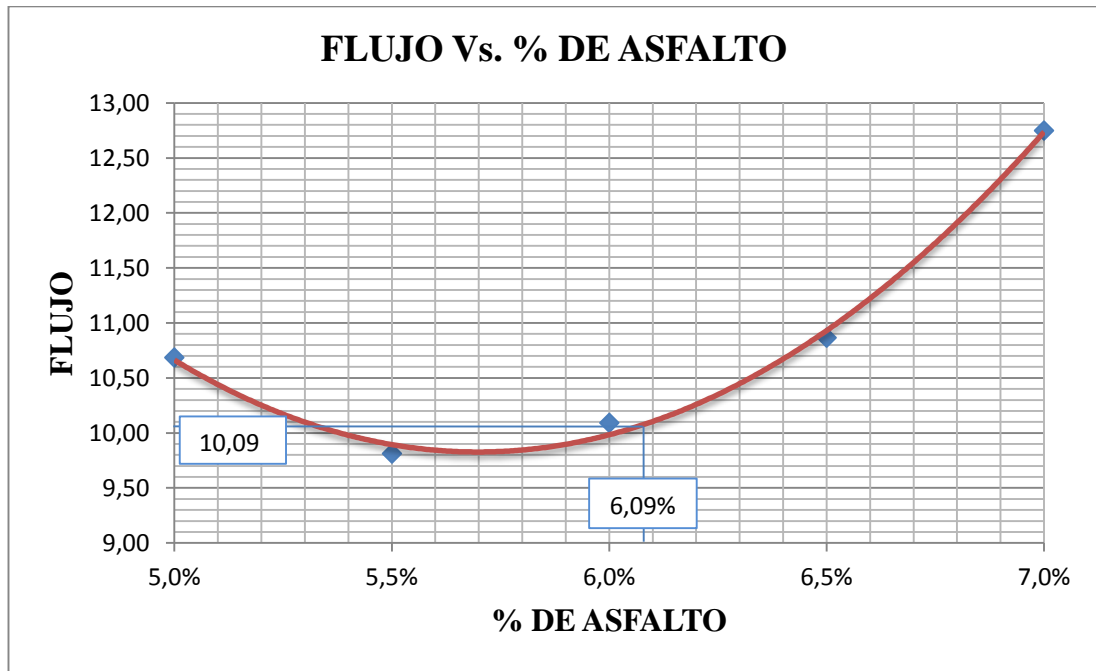
Tabla N° 24. Datos, estabilidad Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	Estabilidad
5%	4433,686
5,5%	5763,091
6%	5988,528
6,5%	5390,656
7%	5547,066

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: El ensayo realizado mediante el método Marshall en el cual se nota una curva polinómica de forma ascendente, hasta una estabilidad aproximada en el punto más alto de la curva de 5920, mientras que para el contenido de asfalto óptimo promediado de 6,09% tenemos una estabilidad de 5890.

Gráfico N° 26. Curva, flujo (T) Vs. % de asfalto (B)



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Tabla N° 25. Datos Flujo Vs. % de Asfalto.

% De Asfalto	Flujo
5%	10,69
5,5%	9,81
6%	10,09
6,5%	10,87
7%	12,75

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En el gráfico se puede visualizar la curva polinómica que a menor contenido de asfalto - menor deformación mientras que a mayor contenido de asfalto mayor deformación por lo que para nuestro contenido de asfalto óptimo de 6,09% se obtiene una deformación de 10,09 que se encuentra entre los valores recomendados que son de 8 -14 centésimas de pulgada.

4.1.4.4 Resultados obtenidos con porcentaje óptimo de asfalto para un pavimento asfáltico tradicional.

Tabla N° 26. Resumen de resultados obtenidos de las gráficas para porcentajes óptimos de asfalto.

Denominación	Valor
Porcentaje óptimo	6,09 %
Peso específico “Bulk”	2,245
Porcentaje vacíos con aire	3,2
Porcentaje vacíos en agregados minerales	11,00
Porcentaje vacíos rellenos de asfalto	70,18
Estabilidad (libras)	5890
Flujo (pulga/100)	10,09

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Los datos presentes en la tabla fueron determinados para un contenido óptimo de 6,09 % de cemento asfáltico mediante las gráficas resultantes del ensayo Marshall realizado a las briquetas con distintos contenidos de asfalto.

4.1.5 Diseño pavimento asfáltico con fibras celulosa

Por el motivo de comparación, se tomará en consideración el porcentaje de asfalto calculado con anterioridad del cual se partirá para realizar el pavimento asfáltico con fibras celulosas. Tomando en cuenta el mismo procedimiento de elaboración de probetas para que no existan factores que incidan tanto en la elaboración como en el ensayo.

4.1.5.1 Obtención de la fibra celulosa

Para la obtención de la fibra celulosa que se agregó como estabilizador en el pavimento asfáltico, se realizó el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar se comenzó con el reciclado de la cascará del coco, para posteriormente sumergirla en agua para que esta adquiriera una textura húmeda para que sea fácil de retirar la corteza.
2. Luego de retirada la corteza se procederá a desmembrar de forma en que queden fracciones de fácil manipulación.

Gráfico N° 27. Fibras de coco utilizadas.



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

3. Una vez desmembrada se deja secar hasta obtener una forma de fácil limpieza en la cual se pueda retirar rápidamente la fibra libre de impurezas.
4. Retirada las impurezas quedando solo las fibras se procede al proceso de cortado o molido de las fibras cuidando que la longitud no exceda 5mm.

5. Luego de cortadas o molidas las fibras la se sometió a un proceso de tamizaje para que las fibras que se desee utilizar tengan una textura suelta y cumplan las especificaciones.

Gráfico N° 28. Tamizado y Pesado de Fibras



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

6. Finalmente, se selecciona la fibra adecuada para la utilización.

4.1.5.2 Dosificación de la fibra

De acuerdo a las especificaciones técnicas Alemanas ZTV Asphalt StB 01 (2001) El porcentaje adecuado para realizar una mezcla con fibras celulósicas es 0,3% en peso calculado sobre la mezcla total.

Para el diseño del pavimento asfáltico con fibras se utilizó la fibra de coco como material estabilizador, el cual se dosificó de la siguiente manera.

Si para realizar una briqueta de 1200gr (95% de agregado y 5% de cemento asfáltico) es decir 1140gr de agregado seco, entonces el 4,7% es cemento asfáltico y el 0,3% es fibra celulosa

$$\text{Masa cemento asfáltico} = 1200 \times 5\% = 60\text{gr}$$

$$\text{Masa fibra} = 1200 \times 0,3\% = 3,6\text{gr}$$

Masa mezcla	Masa seca	% cemento asfáltico	Fibra
1200gr	1140gr	56,4gr	3,6gr

Las fibras deben ser premezclada con el cemento asfáltico, previo a su utilización en la mezcla procurando que esta quede uniforme y no se formen bulbos durante el premezclado fibra – asfalto.

4.1.5.3 Elaboración de briquetas mezcla asfáltica con fibras.

1. Para elaborar las briquetas en primer lugar se debe realizar un pre mezclado de la fibra con el cemento asfáltico, para lo cual se seleccionará la fibra de acuerdo a propiedades que deben cumplir.
2. Luego de realizar la selección y el premezclado a una temperatura de 180°C se procederá a realizar el pesado de los agregados.



Gráfico N° 29. Premezclado de fibra – cemento asfáltico



Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

3. A continuación se realizará el mismo procedimiento de la Norma I.N.V.E - 749 – 7 descrita en la sección 4.1.2.3. de este documento.

Tabla N° 27. Ensayo Marshall realizado a las briquetas del pavimento asfáltico con fibras.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 																						
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL"																						
Gagr:			2,369			Gasf:			1,0239													
REALIZADO POR:			Cristian Elías Jiménez Rojano						FECHA:				22/08/2016									
DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																						
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO (cm)	% FIBRAS	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm)			ASFALTO ABSORCION %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulgs/100		
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MAXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS EN AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA			
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{G_{aggr}} + \frac{\%CA}{G_{asf}}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \times G}{G_{aggr}}$	$\left(1 - \frac{G}{T}\right) \times 100$	100 - K-L	100 - K	$\%CA - \frac{J \times \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			Q x R			
1,1	5%	0,3%	6,73	1133,2	1137,3	591,8	2,08										4424	0,915	4047,96	13,75		
1,2			6,50	1101,0	1105,7	586,6	2,12											4099	0,963	3947,34	15,71	
1,3			6,40	1091,1	1099,6	575,5	2,08												3750	0,988	3705,00	10,64
PROMEDIO							2,093	2,238	2,323	1,73	83,948	9,884	6,168	16,052	3,056	38,426			3900,099	12,20		
2,1	5,5%	0,3%	6,42	1041,8	1045,7	546,2	2,09											3530	0,983	3469,99	12,62	
2,2			6,25	1060,8	1064,1	565,2	2,13												3515	1,027	3609,905	10,46
2,3			6,50	1132,4	1138,0	608,2	2,14												4714	0,963	4539,582	11,8
PROMEDIO							2,116	2,224	2,264	0,846	84,426	6,517	9,057	15,574	4,401	58,155			4074,744	11,63		
3,1	6%	0,3%	6,47	1090,3	1093,5	583,4	2,137											4383	0,970	4251,51	9,13	
3,2			6,10	1059,3	1063,0	571,5	2,155												4420	1,071	4733,82	11,05
3,3			6,64	1147,6	1151,2	611,5	2,126												4938	0,936	4621,968	9,00
PROMEDIO							2,140	2,210	2,313	2,141	84,901	7,493	7,606	15,099	3,688	50,372			4535,766	9,73		
4,1	6,5%	0,3%	6,51	1152,3	1154,0	626,4	2,184												5159	0,960	4952,64	11,55
4,2			6,28	1085,7	1087,2	589,2	2,180												4271	1,019	4352,149	13,12
4,3			6,20	1045,9	1046,8	561,7	2,156													4536	1,040	4717,44
PROMEDIO							2,173	2,197	2,214	0,381	85,780	1,834	12,386	14,220	5,844	87,105			4674,076	10,72		
5,1	7%	0,3%	6,80	1175,7	1176,3	627,6	2,143												5452	0,898	4895,896	6,01
5,2			6,13	1052,8	1054,7	562,2	2,138												4106	1,062	4360,572	10,23
5,3			6,25	1086,0	1086,9	584,7	2,162												4731	1,027	4858,737	12,63
PROMEDIO							2,148	2,183	2,241	1,266	84,309	4,167	11,524	15,691	5,522	73,443			4705,068	11,43		

Nota: los valores remarcados con rojo no son tomados en cuenta debido que se encuentran fuera de foco.

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.5.4 Determinación del contenido óptimo de asfalto para pavimentos asfálticos con fibras.

De la tabulación realizada del ensayo Marshall realizado a las briquetas del cual se tomó en consideración los parámetros dados por el ensayo, como la estabilidad máxima, peso específico máximo, y el contenido de vacíos promedió para pavimentos asfálticos con fibras celulósicas que esta entre 3-4%

Tabla N° 28. Valores tomados en cuenta para contenido óptimo de asfalto.

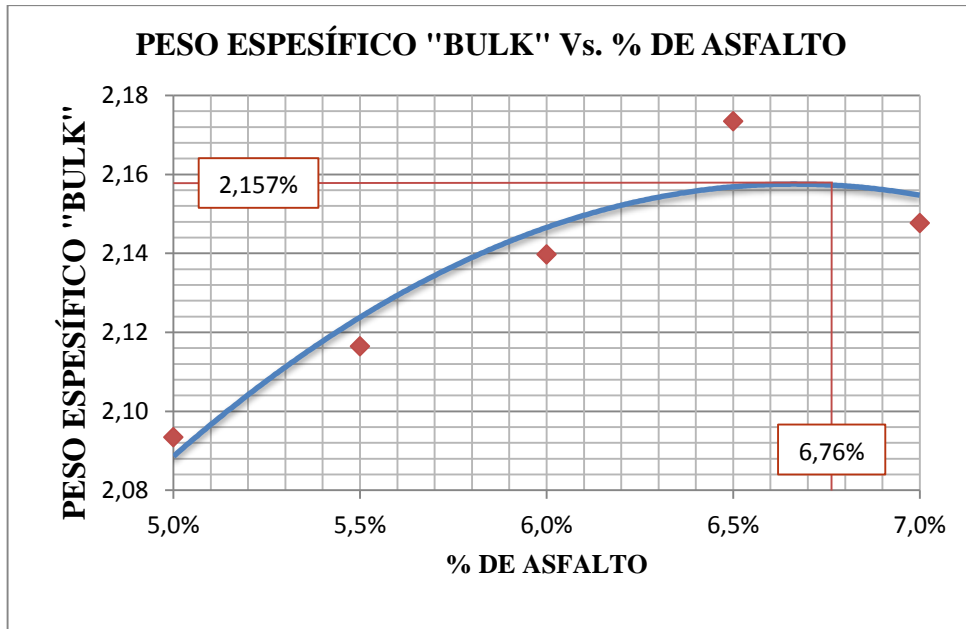
Datos	Valores máximos	% De asfalto
% C.A. Para la máxima densidad Bulk	2,173	6,5
% C.A. Para la máxima estabilidad	4705,098	7
% C.A. Entre 3 – 4% de Vacíos	---	6,8
PROMEDIO		6,76%

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Como lo habíamos mencionado con el promedio de estos tres valores tomados en cuenta se procederá a tomar los datos de las curvas obtenidas del ensayo Marshall.

4.1.5.5 Gráficas de las propiedades Marshall para de los pavimentos asfáltica con Fibras.

Gráfico N° 30. Curva, peso específico “Bulk” (G’) Vs. % de asfalto (B’)



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

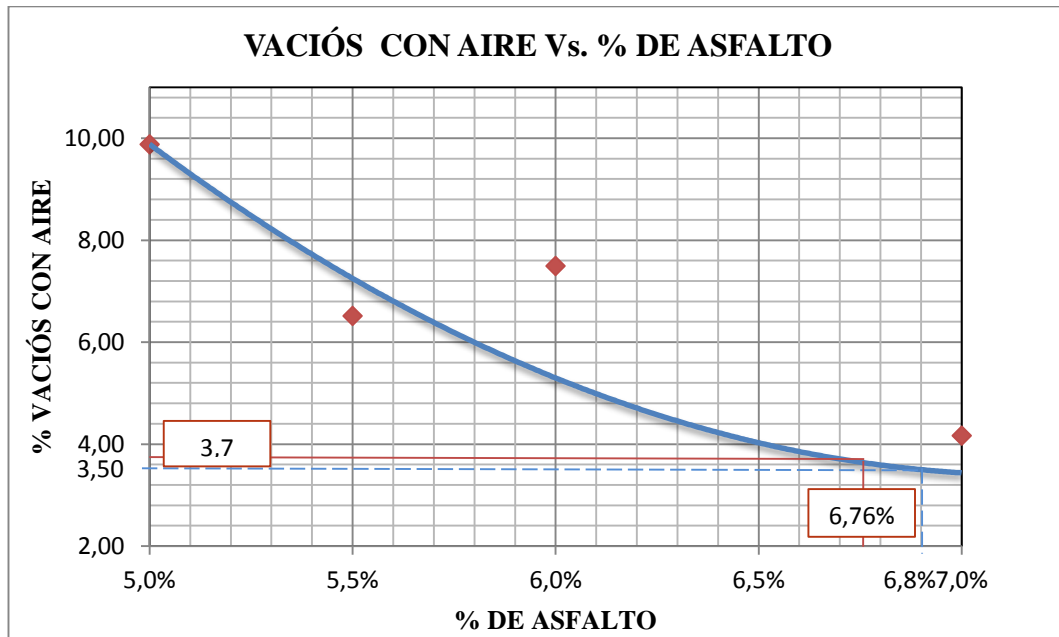
Tabla N° 29. Datos Peso específico “Bulk” Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	P.E. BULK
5%	2,093
5,5%	2,116
6%	2,140
6,5%	2,173
7%	2,148

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En el presente gráfico se puede visualizar que para un contenido de cemento asfáltico de 6,76% se observa que de acuerdo con la curva polinómica realizada el peso específico corresponderá a 2,157.

Gráfico N° 31. Curva, vacíos con aire (L´) Vs. % de asfalto (B´)



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

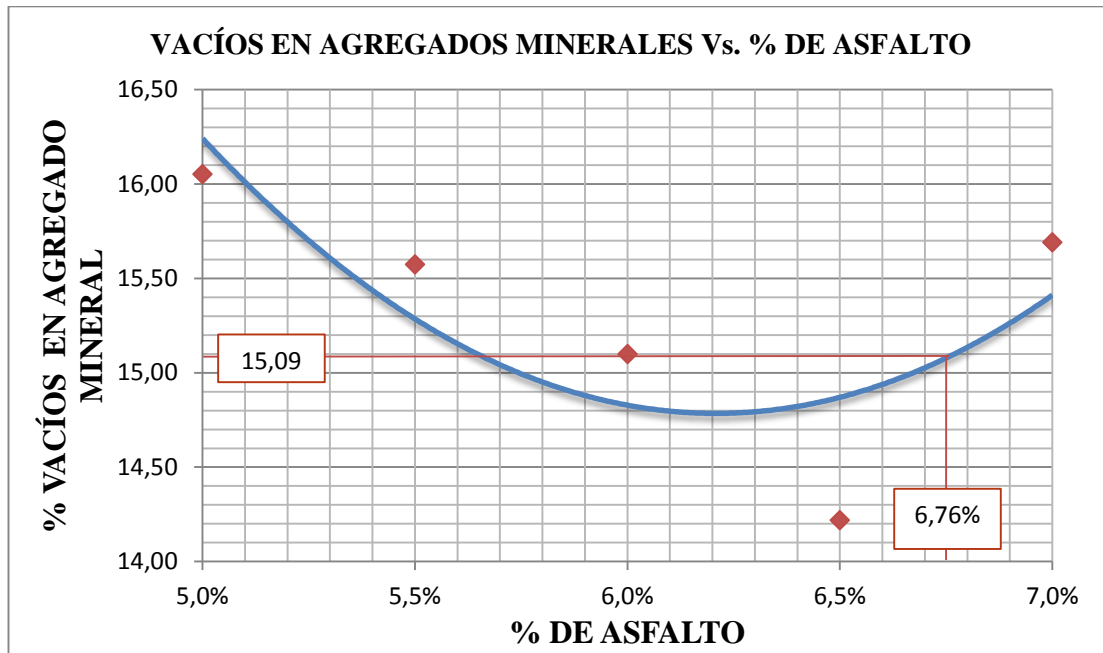
Tabla N° 30. Datos, vacíos con aire Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	Vacíos en aire
5%	9,884
5,5%	6,517
6%	7,493
6,5%	1,834
7%	4,167

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En esta gráfica se observa la curva polinómica realizada con los datos obtenidos es de forma descendente en la cual se visualiza, que a mayor contenido de asfalto menor cantidad de vacíos por tanto para el % de asfalto óptimo de 6,67% se tiene 3,7 verificando así que se encuentra en el rango de 3% - 4% para este tipo de Mezclas.

Gráfico N° 32. Curva, % vacíos en agregados minerales (N') Vs. % de asfalto (B')



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

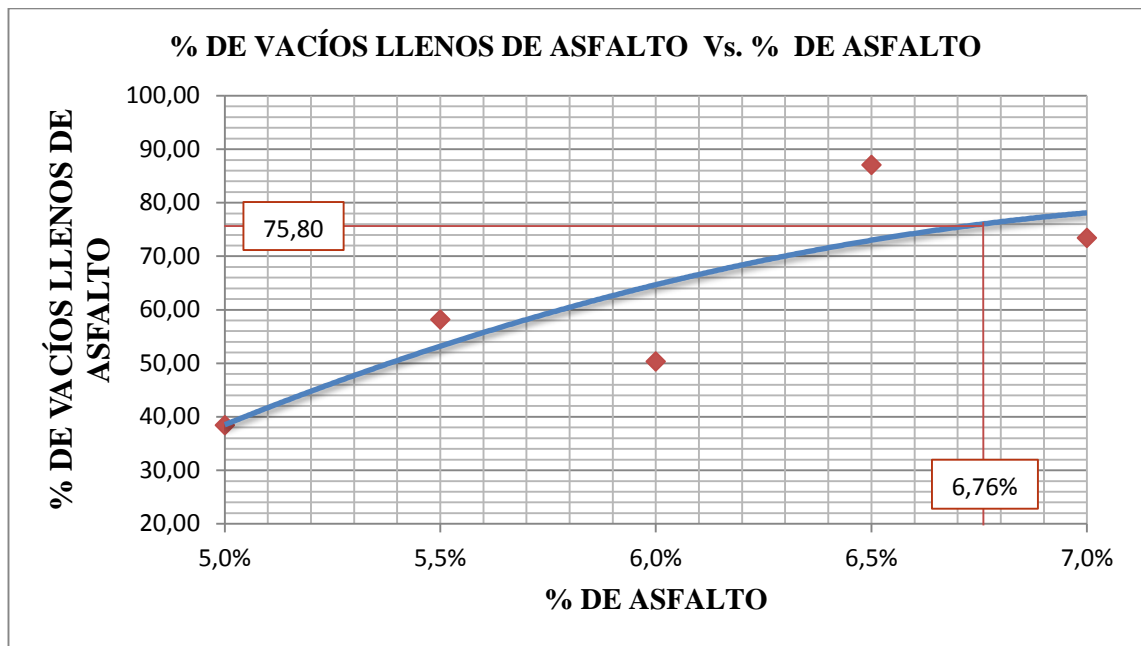
Tabla N° 31. Datos, vacíos en agregados minerales Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	VAM
5%	16,052
5,5%	15,574
6%	15,099
6,5%	14,220
7%	15,691

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En esta gráfica se puede verificar que para un % de asfalto de 6,76 el valor que podría resultar de vacíos en agregados minerales es de 15,09.

Gráfico N° 33. Curva, % vacíos llenos de asfalto (P[^]) Vs. % de asfalto (B[^])



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

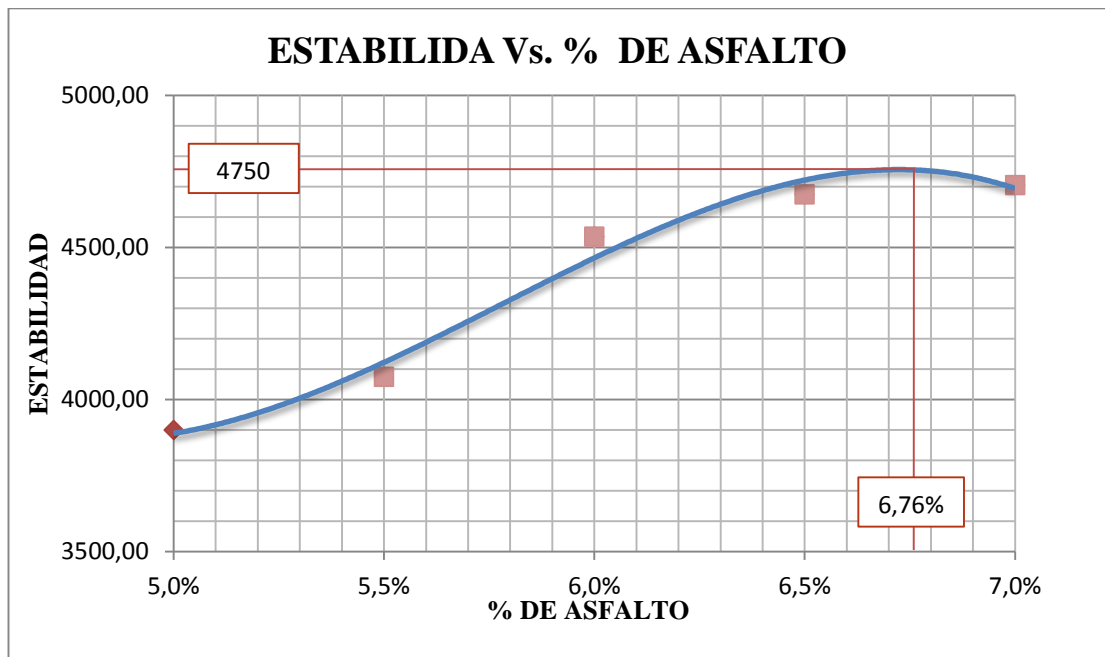
Tabla N° 32. Datos, % vacíos llenos de asfalto Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	V.F.A
5%	38,426
5,5%	58,155
6%	50,372
6,5%	87,105
7%	73,443

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la presente gráfica se puede ver que la curva es ascendente a mayor porcentaje de asfalto el porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta teniendo así que para un porcentaje de 6,76 el valor será de 75,80.

Gráfico N° 34. Curva, estabilidad (S') Vs. % de asfalto (B')



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

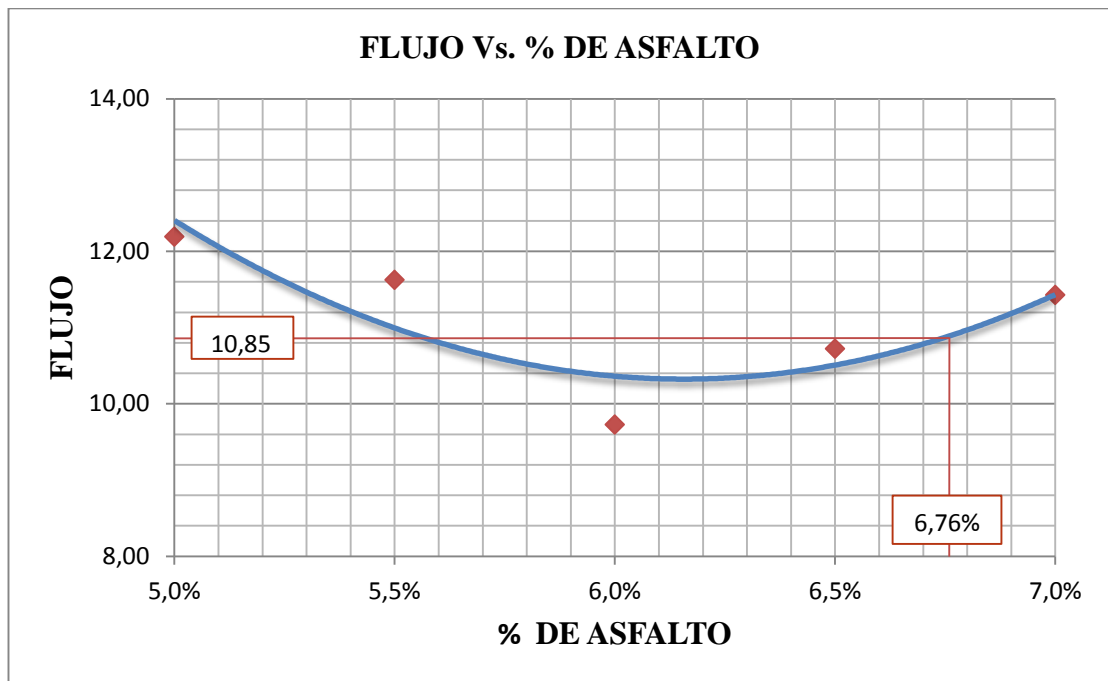
Tabla N° 33. Datos, estabilidad Vs % de asfalto.

% De Asfalto	Estabilidad
5%	3900,099
5,5%	4074,744
6%	4535,766
6,5%	4674,076
7%	4705,068

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En esta gráfica se puede visualizar una curva en forma ascendente en la cual se observa que a un porcentaje de asfalto aumenta de 6,76 corresponde una estabilidad de 4750 lb.

Gráfico N° 35. Curva, flujo (T') Vs. % de asfalto (B')



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Tabla N° 34. Datos, flujo Vs. % de asfalto.

% De Asfalto	Flujo
5%	12,20
5,5%	11,63
6%	9,73
6,5%	10,72
7%	11,43

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: Esta gráfica proporciona el flujo que posee cada una de las briquetas ensayadas en la máquina Marshall. En la cual se puede visualizar que la curva polinómica realizada es de forma descendente – ascendente siendo que para un contenido de asfalto de 6,76% tendrá un flujo de 10,85.

4.1.5.6 Resultados obtenidos con porcentaje óptimo de asfalto para un pavimento asfáltico con fibras.

Tabla N° 35. Resumen de resultados obtenidos de las gráficas para porcentajes óptimos de asfalto con fibras.

Denominación	Valor
Porcentaje óptimo	6,76%
Peso específico “Bulk”	2,157
Porcentaje vacíos con aire	3,7
Porcentaje vacíos en agregados minerales	15,09
Porcentaje vacíos rellenos de asfalto	75,80
Estabilidad (libras)	4750
Flujo (pulga/100)	10,85

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Al igual que en la Tabla N°26 los datos fueron obtenidos de las gráficas resultantes del ensayo Marshall.

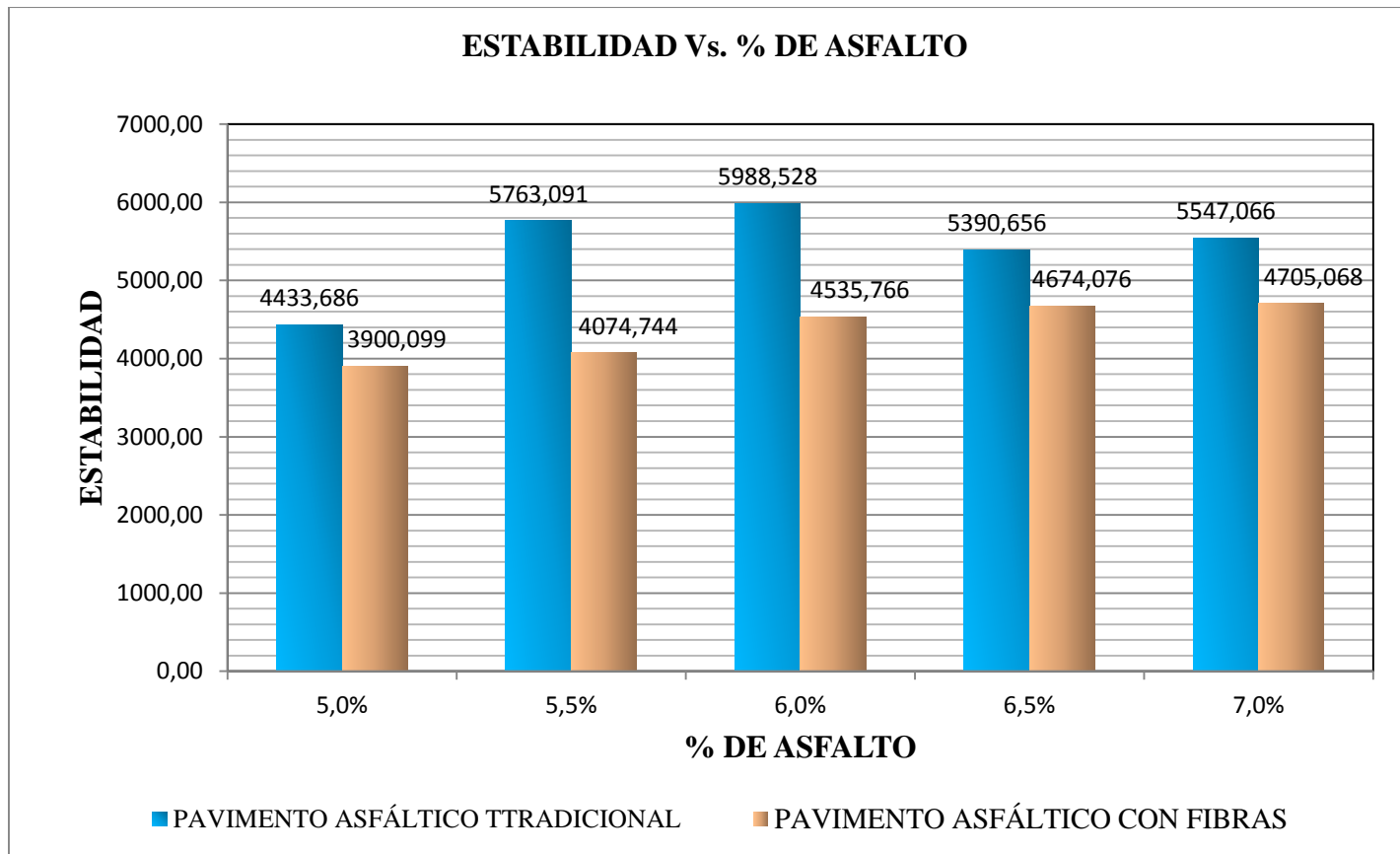
4.1.6 Resultados del ensayo de estabilidad y deformación del pavimento asfáltico tradicional Vs. al pavimento asfáltico con fibras

Tabla N° 36. Contenido de asfalto, estabilidad y flujo.

	% de C.A	Estabilidad	Deformación
Pavimento asfáltico tradicional	5%	4433,69	10,69
Pavimento asfáltico con fibras		3900,1	12,2
Pavimento asfáltico tradicional	5,50%	5661,19	9,81
Pavimento asfáltico con fibras		4074,744	11,63
Pavimento asfáltico tradicional	6%	5988,53	10,09
Pavimento asfáltico con fibras		4535,766	9,73
Pavimento asfáltico tradicional	6,50%	5390,656	10,87
Pavimento asfáltico con fibras		4674,076	10,72
Pavimento asfáltico tradicional	7%	5288,584	12,75
Pavimento asfáltico con fibras		4705,068	11,43

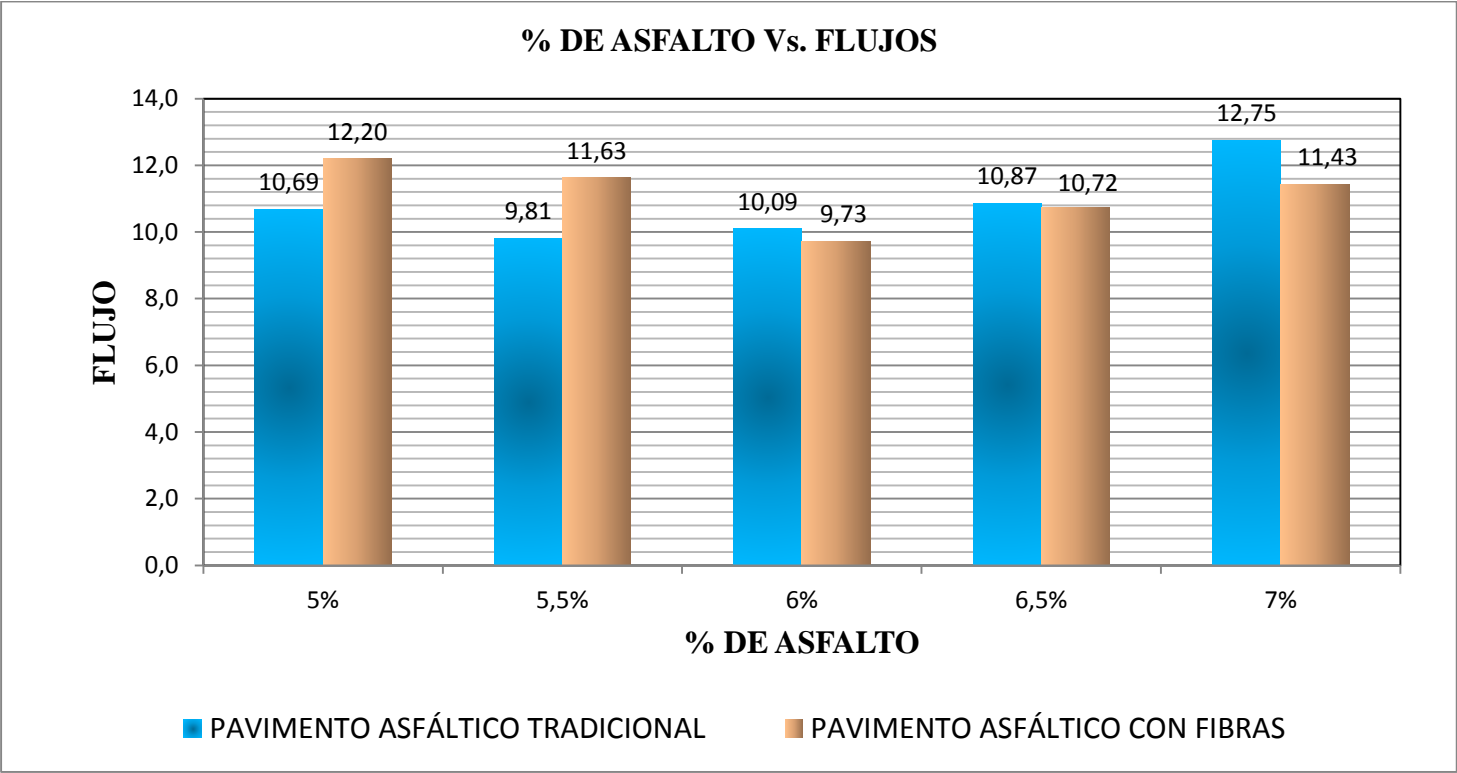
Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Gráfico N° 36. Valores comparativos de las estabilidades Vs. % de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Gráfico N° 37. Valores comparativos del flujo Vs. % de asfalto

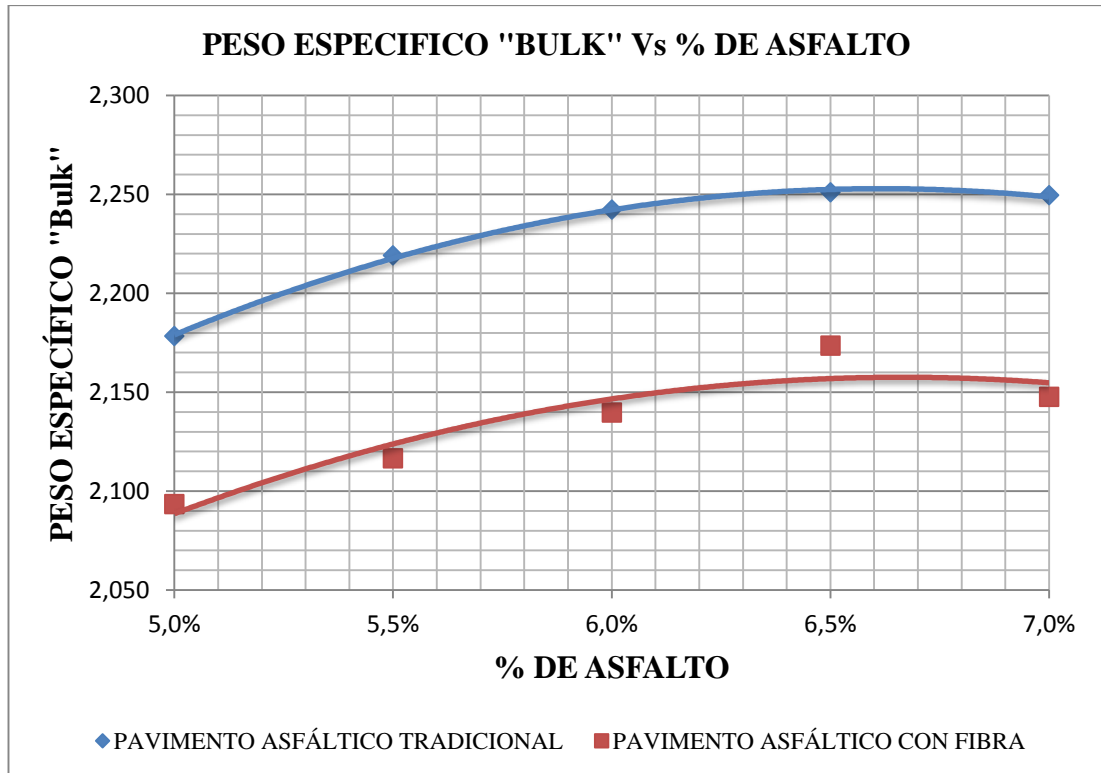


Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En las gráficas podemos observar que la estabilidad del pavimento asfáltico tradicional, en los diferentes contenidos de cemento asfáltico son superiores que la estabilidad obtenida para los pavimentos asfálticos con fibras ya que las estabilidades del pavimento asfáltico tradicional bordean una estabilidad superior a las 5000 lb, en tanto que la estabilidad del pavimento asfáltico con fibras en su punto más alto no supera las 4800 lb, además de esto en las gráficas se puede notar que el pavimento asfáltico tradicional se comporta de forma ascendente en su estabilidad hasta un porcentaje de cemento asfáltico de 6% en el cual alcanza su punto más alto para después empezar a disminuir su estabilidad, en tanto que los valores de la estabilidad para los pavimentos asfálticos con fibras se observa un incremento circunstancial en la estabilidad a la par del incremento del porcentaje de asfalto. Mientras que los valores obtenidos de la deformación en el pavimento asfáltico tradicional se comportan de forma que a mayor estabilidad menor flujo para lo cual se dirá que es el comportamiento habitual del pavimento asfáltico al igual en el pavimento asfáltico con fibras se nota el mismo comportamiento.

4.1.6.1 Representación gráfica de resultados, pavimento asfáltico tradicional y pavimento asfáltico con fibras.

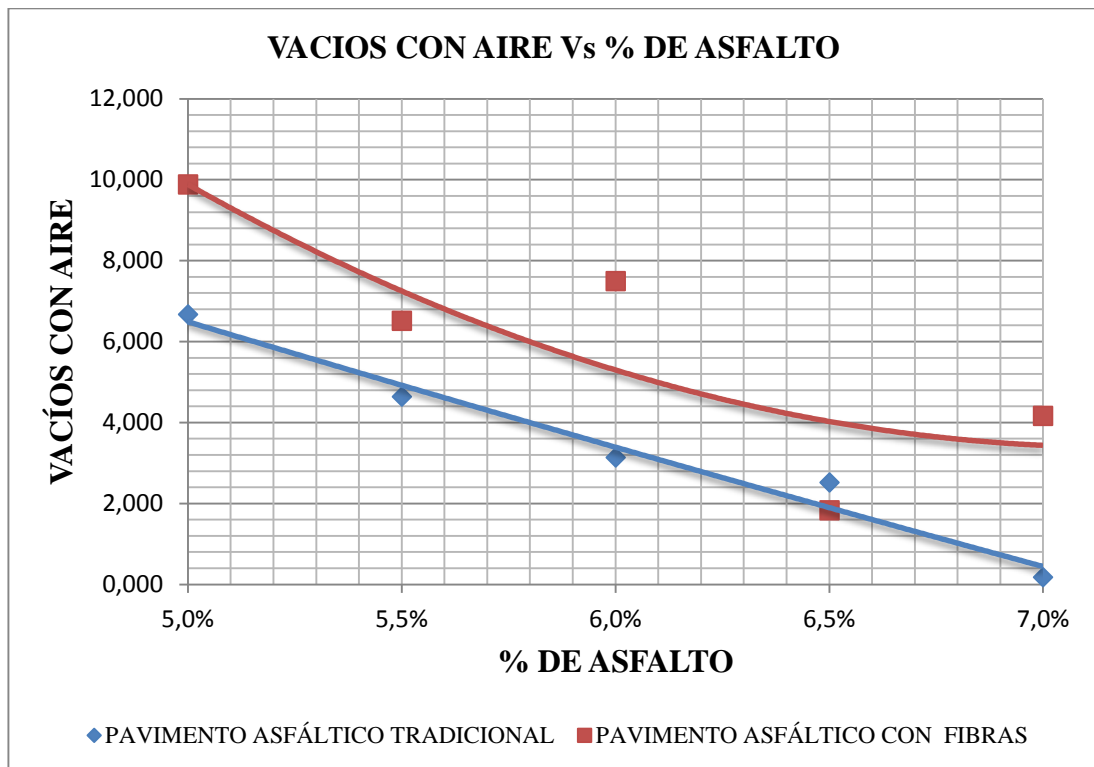
Gráfico N° 38. Curvas, peso específico "Bulk" Vs. % de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la gráfica se puede apreciar la variación de los pesos específicos "Bulk" del pavimento tradicional Vs. la curva del pavimento con fibras en la cual se nota que el peso específico del pavimento tradicional es superior al del pavimento asfáltico con fibras.

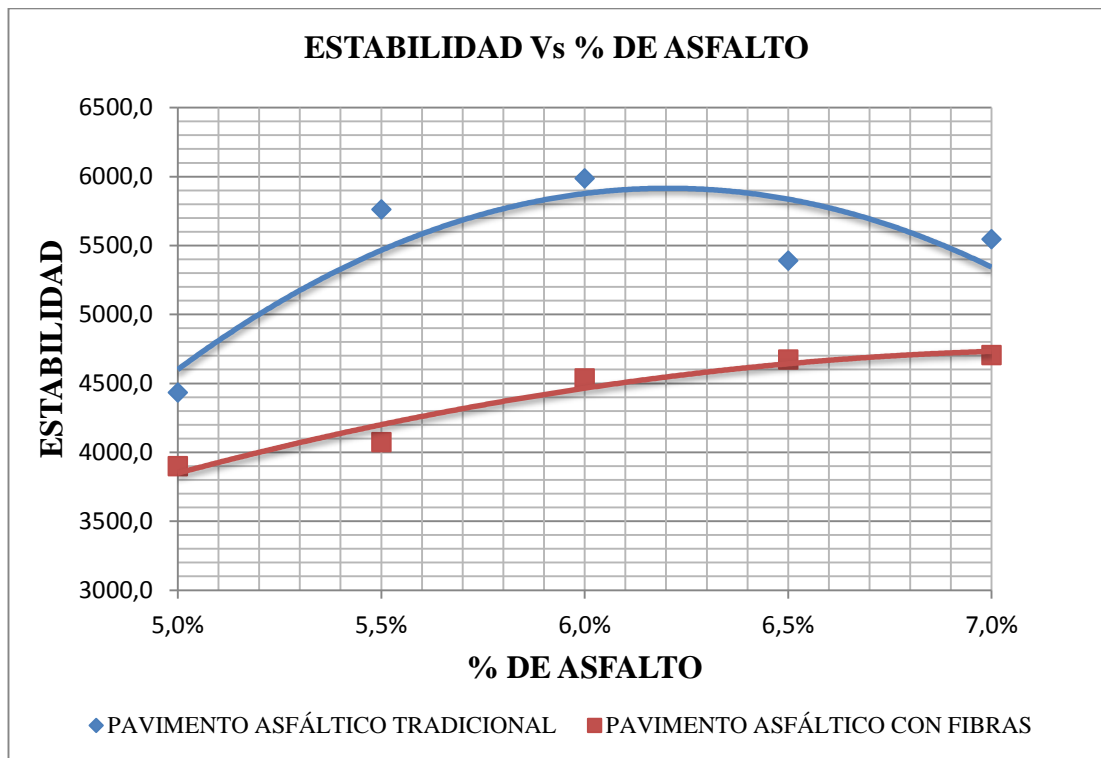
Gráfico N° 39. Curvas, vacíos con aire Vs. % de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: Esta gráfica muestra la cantidad de vacíos del pavimento asfáltico con fibras y el pavimento asfáltico tradicional, la cual corresponde a la relación que existe entre el porcentaje de asfalto que contienen cada briqueta con la cantidad de vacíos que se encuentran.

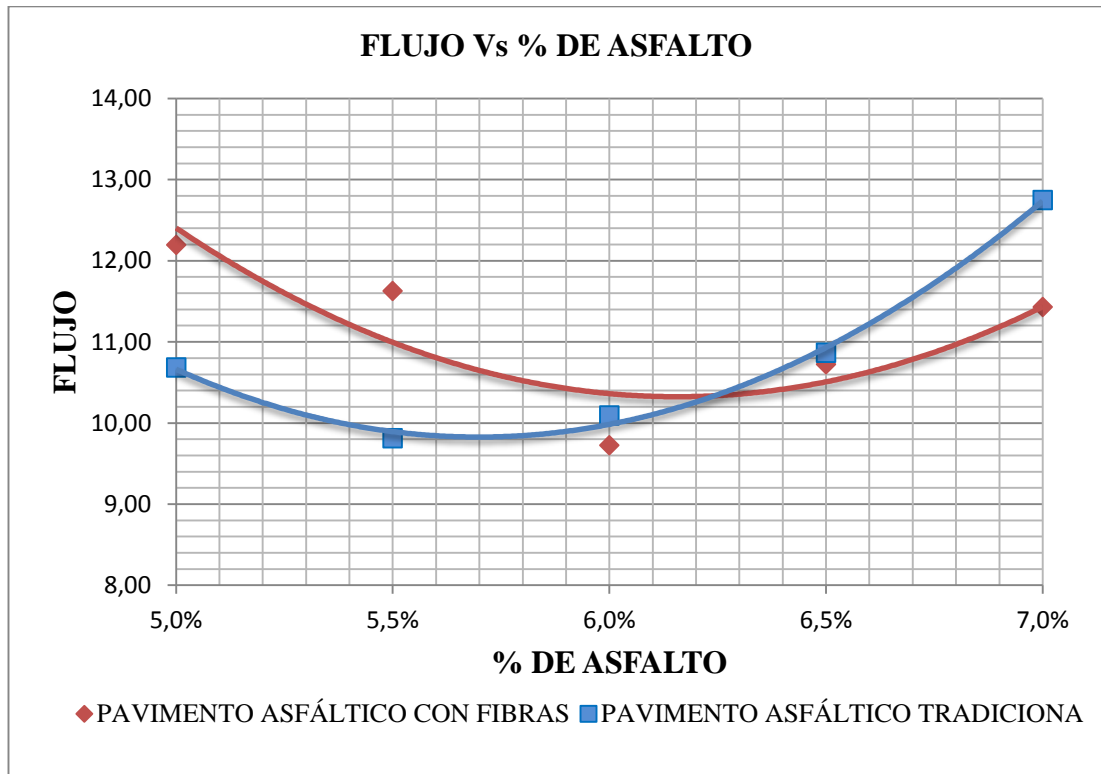
Gráfico N° 40. Curvas, estabilidad Vs % de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: La gráfica es la representación de los ensayos realizados a las briquetas en la cual se aprecia los valores del pavimento asfáltico tradicional están por encima de los valores del pavimento asfáltico con fibras acercándose levemente en un 7% de cemento asfáltico.

Gráfico N° 41. Curvas, flujo (T) Vs. % de asfalto (B)



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la gráfica se observa que la curva del pavimento asfáltico tradicional y la del pavimento asfáltico con fibras en el porcentaje de asfalto igual a 5% se encuentran en puntos separados hasta el 5,5% donde se nota un decrecimiento de la curva del pavimento asfáltico con fibras y un ascenso de la curva de pavimento asfáltico tradicional intersecándose en un contenido de asfalto aproximado de 6,3% para luego continuar en un ascenso de las dos curvas casi con valores similares.

4.1.7 Representación de la estabilidad y el flujo del pavimento asfáltico tradicional con el porcentaje óptimo de asfalto y pavimento asfáltico con fibras con su respectivo porcentaje óptimo de asfalto.

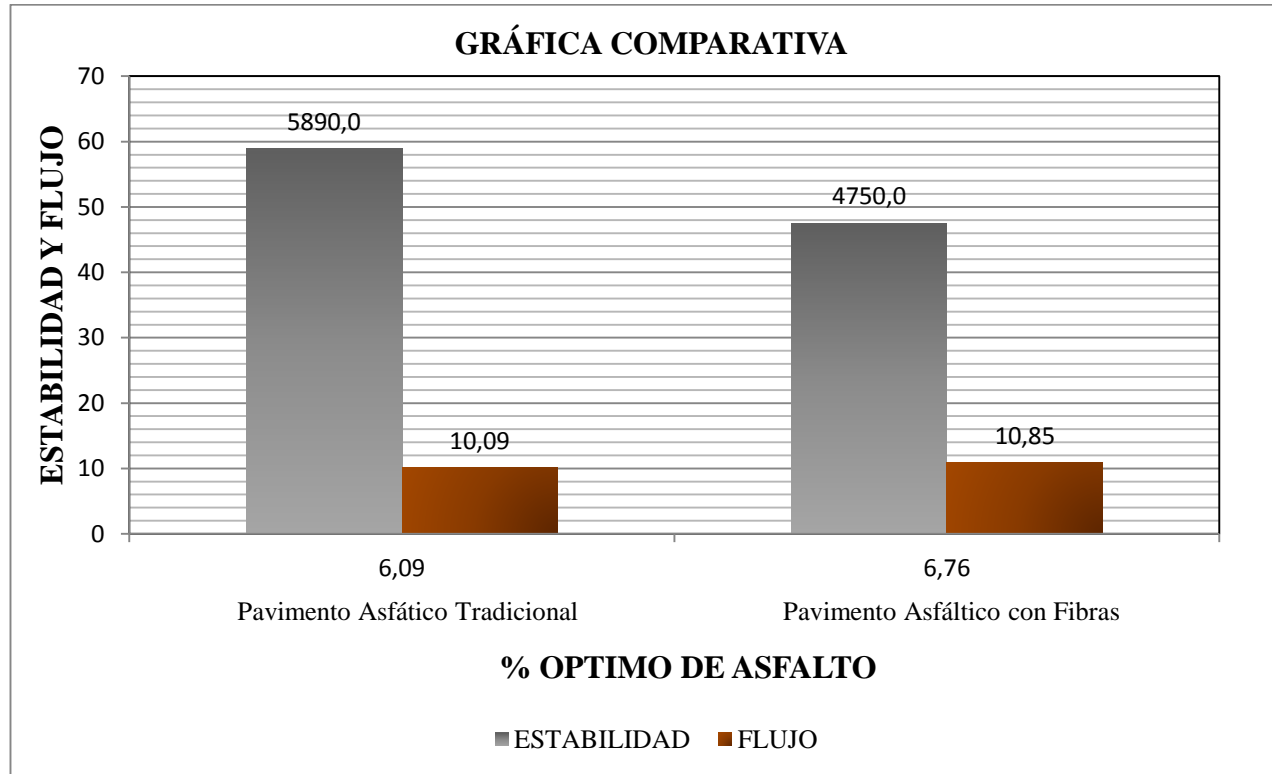
Tabla N° 37. Valores óptimos del cemento asfáltico con sus respectivas estabilidades y flujos.

	Pavimento asfáltico tradicional	Pavimento asfáltico con fibras
Porcentaje de cemento asfáltico	6,09%	6,76%
Estabilidad	5890	4750
Flujo	10,09	10,85

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la tabla se puede visualizar los valores arrojados luego del ensayo realizado a los dos tipos de pavimentos asfálticos, el tradicional y el experimental, el valor de la estabilidad en el pavimento tradicional es de 5890 lb, mientras que el pavimento asfáltico con fibras obtuvo un valor con un 19,35% menor, mientras que el valor del flujo del pavimento asfáltico tradicional es de 10,09 que comparado con el 10,85 del pavimento asfáltico con fibras es un 7,01% menos que el 10,85 en base a los datos se dirá que el pavimento asfáltico con fibras según criterio del investigador no mejor la estabilidad.

Gráfico N° 42. Compartición de la estabilidad y flujo con el % óptimos de asfalto



Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

4.1.8 Verificación de criterios de diseño para mezclas “Marshall”.

Obtenidos los datos de las curvas en base al porcentaje óptimo de asfalto, se verificará si estos resultados cumplen las especificaciones Marshall para un pavimento asfáltico tradicional, y las especificaciones Marshall para un pavimento asfáltico con fibras.

Tabla N° 38. Comparación de resultados obtenidos – pavimento asfáltico tradicional

Denominación	Valor pavimento asfáltico tradicional	Criterio de diseño para mezclas Marshall tradicional	
		Min	Max
Porcentaje de asfalto	6,09	Sin Especificación	
Número de golpes	75	75	
Estabilidad en libras	5890	1800	
Flujo en centésimas de pulgada	10,09	8	14
Porcentaje de vacíos	3,2	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70,18	65	75
Relación Filler/ Betún	0,865	0,8	1,2
Porcentaje de vacíos en agregados minerales	14,38	12,2	

Fuente.- Cristian Elías Jiménez Rojano

Tabla N° 39. Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral.

Máximo tamaño de la partícula nominal		Porcentaje mínimo V.M.A.		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3,0	4,0	5,0
1,18	N°16	21,5	22,5	23,5
2,36	N°8	19,0	20,0	21,0
4,75	N°6	16,0	17,0	18,0
9,5	3/8	14,0	15,0	16,0
12,5	½	13,0	14,0	15,0
19	¾	12,0	13,0	14,0
25	1,0	11,0	12,0	13,0
73,5	1,5	10,0	11,0	12,0

Fuente: Folleto pavimentos de la Facultad de ingeniería civil de la UTA (Norma N-CMT-4-05-003/02)

Valor de relación Filler/Betún

$$\text{relación} = \frac{\text{Filler}}{\text{Betun}}$$

$$\text{relación} = \frac{5,27}{6,09} = 0,865$$

Porcentaje de vacíos en agregado mineral según porcentaje de vacíos

Porcentaje de vacíos = 3,2

Máximo tamaño de la partícula nominal		Porcentaje mínimo V.M.A.		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3,0	4,0	5,0
19	¾	12,0	13,0	14,0

Interpolación

	Vacíos	V.M.A	Vacíos
Valor inferior	3,0	12,0	3,0
Valor superior	4,0	13,0	3,2
diferencia	1,0	1,0	0,2

$$\text{V. M. A} = \frac{0,2 \times 1}{1} = 0,2 + 12 = 12,2$$

Tabla N° 40. Comparación de resultados obtenidos del pavimento asfáltico con fibras frente al criterio de diseño para mezclas Marshall y para requisitos de calidad para mezclas asfálticas con fibras (SMA).

Denominación	Valor pavimento asfáltico con fibras	Criterio de diseño para mezclas Marshall tradicional		Requisitos de calidad para mezclas asfáltica con fibras(SMA)	
		Min	Max	Min	Max
Porcentaje de asfalto	6,76	Sin especificación		6	--
Número de golpes por cara con martillo Marshall	75	50 - 75		50 - 75	
Estabilidad en libras	4750	1800		1400	
Flujo en centésimas de pulgada	10,58	8	14	8	16
Porcentaje de vacíos	3,7	3	5	3	4
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	75,80	65	75	75	85
Relación Filler/ Betún	0,833	0,8	1,2	Sin especificación	
Porcentaje de vacíos en agregados minerales	15,09	12,7		17	

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: En la tabla se comprueba que para un contenido óptimo de cemento asfáltico con fibras de 6,76% la mayor parte de valores cumplen con el criterio de diseño para mezclas Marshall tradicionales, exceptuando el caso del porcentaje de vacíos rellenos de asfalto que sobrepasa con 1,055% el máximo permitido, así mismo se puede verificar que los valores cumplen con los requisitos de calidad para mezclas asfálticas con fibras (SMA).

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

➤ **Ensayo Granulométrico.**

El ensayo granulométrico realizado a los agregados se visualiza que se encuentra dentro de los límites y cumple con las especificaciones y normas para el pavimento asfáltico dados por la MOP-001-F 2002, el cual posee una tamaño nominal (TNM) correspondiente a 3/4".

➤ **Ensayo de desgaste por medio de la máquina de Los Ángeles**

En el ensayo de desgaste realizado al agregado grueso tomado de la planta asfáltica JEAL CONSTRUCCIONES se encuentra en los límites solicitados en las especificaciones para un pavimento asfáltico tradicional que debe ser menor al 40% como para la especificación para pavimento asfáltico con fibras que debe ser menor al 30%.

➤ **Ensayo Marshall**

El ensayo realizado a las probetas con distinto contenido de asfalto tanto para el pavimento asfáltico tradicional, como para el pavimento asfáltico con fibras en los dos casos se ha obtenido un contenido de asfalto óptimo en los cuales los resultados son similares.

➤ **Deformación**

De acuerdo con la gráfica N°40, realizado el ensayo se evidencia que el pavimento asfáltico con fibras posee un leve incremento en la deformación no obstante a medida que aumenta el contenido de cemento asfáltico estos valores tienden a disminuir en tal forma que los valores de deformación del pavimento asfáltico tradicional superan a los del pavimento asfáltico con fibras a partir de un Porcentaje de 6%.

4.2.1 Análisis de costos

Para implementar un pavimento asfáltico se debe realizar un análisis del costo beneficio de la carpeta asfáltica, para lo cual se debe realizar el análisis de precios para 1m³ de mezcla asfáltica.

Para el respectivo análisis se tomarán en cuenta los precios que constan en la contraloría general del estado, Dirección de auditoría de proyectos y ambiental de enero del 2016.

4.2.1.1 Costos para un pavimento asfáltico tradicional

- En este cuadro se encuentran los valores obtenidos con anterioridad (Tabla N° 6) el porcentaje de agregado grueso y fino para una briqueta de 1200gr

Tabla N° 41. Materiales para la mezcla de 1200gr.

Materiales	Porcentaje
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	50,93
Arena triturada	49,07
Cemento asfáltico Ac-20	6,09

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Como los agregados no deben cubrir el 100% del peso total de la mezcla se debe restar el contenido óptimo de cemento asfáltico para lo cual se obtiene que el peso total de agregado seco deberá cubrir un 93,91% de la mezcla total, mientras que el restante será cubierto por el 6,09% de cemento asfáltico.

Tabla N° 42. Valores en porcentaje para cada fracción de material.

Composición de la mezcla	Porcentaje
Agregados	93,91
Cemento asfáltico	6,09
Total	100%

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- Como el peso del agregado en la tabla N°14 está en referencia al 100% se deberá realizar la relación para que cumpla solo el 93,91% así:

$$Ripio = \frac{50,93 \times 93,91}{100} = 47,82$$

Tabla N° 43. Porcentajes en peso para cada agregado grueso y fino.

Materiales	Porcentaje (A)
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	47,83
Arena triturada	46,08
Cemento asfáltico Ac-20	6,09
Total	100%

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

- **Dosificación para 1m³**

Para realizar la dosificación para 1m³ se debe conocer el peso específico de cada fracción de agregado (grueso, fino) y el de la mezcla asfáltica que es igual a 2,245 valor correspondiente al porcentaje de cemento asfáltico óptimo de 6,09%

Peso Material (B)

$$B = 2,245 \times A$$

$$B = 2245 \times 47,83\% = 1073,68$$

Porcentaje en la mezcla (D)

$$D = \frac{B}{C}$$

$$D = \frac{1073,78}{2352} = 0,4565$$

Tabla N° 44. Porcentajes a utilizar para 1m³.

Material	Porcentaje	Peso Kg	Densidad Kg/m ³	Porcentaje	Unidad
	A	B	C	D	
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	47,83	1073,78	2352	0,4565	m3
Arena triturada	46,08	1034,49	2385	0,4337	m3
Cemento asfáltico Ac-20	6,09	136,72	1023,9	35,31	gal

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

hoja 1 de 2

RUBRO: Mezcla asfáltica tradicional

Unidad: M3

EQUIPOS					
Descripción	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramientas manuales (5% MO)	5% MO				0,0500
Planta para asfalto(inc. Generador, tanques, etc.)	1,0000	120,0000	120,0000	0,116300	13,9560
Cargadora Frontal	1,0000	30,0000	30,0000	0,116300	3,4890
Subtotal M					17,4950
MANO DE OBRA					
Descripción	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (EST. OCP. E2)	2,0000	3,2600	6,5200	0,116300	0,7583
Op.Resp. planta asfáltica (EST. OCUP. C2)	1,0000	3,4800	3,4800	0,116300	0,4047
Op.de cargadora fron. (EST. OCUP. C1)	1,0000	3,4800	3,4800	0,116300	0,4047
Engras. O Abast. (EST.OCUP. D2)	1,0000	3,7000	3,7000	0,116300	0,4303
Subtotal N					1,9980
MATERIALES					
Descripción:	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D=A*B	
Ripio Triturado 3/4" y 3/8	m3	0,4565	12,0000	5,4785	
Arena triturada	m3	0,4338	12,0000	5,2050	
Asfalto AC-20	kg	136,7205	0,3300	45,1178	
Diesel	gl.	9,6	1,6800	16,1280	
Subtotal O					71,9293
TRANSPORTE					
Descripción:	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D=A*B	
Subtotal P					
Total costo directo (M+N+O+P)				91,4223	
Indirectos y Utilidades %			18,00%	16,4560	
Otros indirectos %			0,00%	0,0000	
Costo total del rubro				107,8783	
VALOR PRESUPUESTO				107,88	

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

AMBATO, OCTUBRE DEL 2016

Egdo: CRISTIAN JIMÉNEZ
ELABORADO

4.2.1.2 Costos para un pavimento asfáltico con fibras

Tabla N° 45. Materiales para la mezcla con fibra para 1200gr

Materiales	Porcentaje
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	50,93
Arena triturada	49,07
Fibra celulosa	0,3
Cemento asfáltico Ac-20	6,76

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

En este caso se debe recordar que el contenido de cemento asfáltico debe estar premezclado en 0,3% de fibra.

Tabla N° 46. Valores en porcentaje para cada fracción de la mezcla con fibra

Composición de la mezcla	Porcentaje
Agregados	93,24
Fibra celulosa	0,30
Cemento asfáltico	6,46

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Tabla N° 47. Porcentaje en peso para cada agregado (grueso y fino)

Materiales	Costo
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	47,49
Arena triturada	45,75
Cemento asfáltico premezclado con fibras	6,76

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Para determinación del precio de la fibra de coco se tomará como referencia investigación previa a esta, donde se señala que la tonelada de fibra de coco bordea el valor de 380 dólares americanos. [20]

Peso específico de la mezcla asfáltica con fibras 2157 Kg/m³

Tabla N° 48. Porcentaje a utilizar para 1m³ de mezcla con fibra

Material	Porcentaje	Peso Kg	Densidad Kg/m ³	Porcentaje	Unidad
Ripio triturada 3/4" y 3/8"	47,49	1024,30	2352	0,4355	m3
Arena triturada	45,75	986,89	2385	0,4137	m3
Cemento asfáltico Ac-20	6,46	139,34	1023,9	35,01	gal
Fibra celulosa	0,30	6,47	850	0,00761	kg

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

hoja 2 de 2

RUBRO: Mezcla asfáltica con fibras

Unidad: M3

EQUIPOS

Descripción	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramientas manuales (5% MO)	5% MO				0,0500
Planta para asfalto(inc. Generador, tanques, etc.)	1,0000	120,0000	120,0000	0,116300	13,9560
Cargadora Frontal	1,0000	30,0000	30,0000	0,116300	3,4890
Subtotal M					17,4950

MANO DE OBRA

Descripción	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón (EST. OCP. E2)	2,0000	3,2600	6,5200	0,116300	0,7583
Op.Resp. planta asfáltica (EST. OCUP. C2)	1,0000	3,4800	3,4800	0,116300	0,4047
Op.de cargadora fron. (EST. OCUP. C1)	1,0000	3,4800	3,4800	0,116300	0,4047
Engras. O Abast. (EST.OCUP. D2)	1,0000	3,7000	3,7000	0,116300	0,4303
Subtotal N					1,9980

MATERIALES

Descripción:	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D=A*B
Ripio Triturado 3/4" y 3/8	m3	0,4355	12,00	5,2260
Arena triturada	m3	0,4138	12,00	4,9655
fibra celulosa	Kg	6,4710	0,38	2,4590
Asfalto AC-20	kg	139,342	0,33	45,9829
Diesel	gl.	9,6	1,6800	16,1280
Subtotal O				74,7614

TRANSPORTE

Descripción:	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO D=A*B
Subtotal P				

Total costo directo (M+N+O+P)	94,2544
Indirectos y Utilidades %	18,00% 16,9658
Otros indirectos %	0,00% 0,0000
Costo total del rubro	111,2202
VALOR PRESUPUESTO	111,22

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

AMBATO, OCTUBRE DEL 2016

Egdo: CRISTIAN JIMÉNEZ
ELABORADO

Tipo de pavimento	Costo
Pavimento asfáltico tradicional	107,88
Pavimento asfáltico con fibras	111,22

Interpretación: En el análisis de costos realizado al pavimento asfáltico tradicional y el pavimento asfáltico con fibras en el cual calculamos un incremento en porcentaje del precio igual a 3,10% para el pavimento asfáltico con fibras.

4.2.2 Determinación de eficiencia

La eficiencia está determinada por varios factores que justifica el uso de este tipo de pavimento así se puede mencionar que los factores más importantes en los pavimentos asfálticos son la estabilidad y deformación como son factores que pueden ser alcanzados, se tomó el costo como un factor para justificar si es eficiente o no la utilización de los pavimentos ensayados.

Como referencia para saber si el pavimento con fibras es eficiente o no, se tomó la Tabla N°8 en la cual se establecen los criterios de diseño para mezclas Marshall.

Tabla N° 49. Determinación eficiencia.

Denominación	Valor P.A.T	Valor P.A.F	Criterio de diseño para mezclas Marshall	Efectividad P.A.T	Efectividad P.A.F.
			Min	%	%
Número de golpes	75	75	75	75	75
Estabilidad en libras	5890	4750	1800	327,22	263,88
Flujo en centésimas de pulg.	10,09	10,85	8	126,13	135,63

Fuente: Cristian Elías Jiménez Rojano

Interpretación: Con los datos en porcentaje obtenidos, el pavimento asfáltico tradicional diseñado es un 327,22% más estable que un pavimento que pueda cumplir los valores mínimos de estabilidad, así mismo el pavimento asfáltico con fibras es un 263,88% más

estable, en cuanto se refiere al flujo se puede notar que los valores no difieren mucho, como se pudo observar los dos paramentos cumplen, pero en cuanto tiene que ver con el costo el pavimento asfáltico con fibras es más caro, lo que lo hace un pavimento poco conveniente de utilización.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de realizados los ensayos tanto a los materiales como a las probetas y realizadas las curvas de resultados con los contenidos óptimos de asfalto para cada uno de los pavimentos ensayado, se comprueba que la estabilidad del pavimento asfáltico con fibras de coco, no alcanza y mucho menos supera la estabilidad del pavimento asfáltico tradicional, por lo que los resultados obtenidos no pueden demostrar la hipótesis planteada ya que la estabilidad del pavimento asfáltico tradicional es un 19,29% más alto que el pavimento asfáltico con fibras, mientras que los valores de los flujos son similares.

Sin embargo estudios realizados por la EAPA publicado en 2007, determinaron que la vida útil media en Europa del pavimento asfáltico con fibras (SMA) se sitúa en 20 años, mientras que para las mezclas asfálticas convencionales está en 14 años y para las BBTM en 8 años. [4] así mismo un análisis realizado por el departamento de transporte (DOT) de Georgia, comparaba la SMA contra una Mezcla asfáltica convencional usando intervalos de rehabilitación de 7,5 y 10 años para mezcla convencional y SMA respectivamente, esta comparación corresponde al 30 – 40 % del incremento en la vida esperada por el pavimento asfáltico con fibras (SMA).[2]

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La granulometría utilizada en esta investigación cumple con las especificaciones establecidas en la normativa MOP-001-F 2002, la cual estipula los límites granulométricos de los agregados para mezclas asfáltica confirmando que el agregado tanto fino como grueso se encuentren dentro de los límites granulométricos de los agregados los resultados se pueden apreciar en la Tabla N°9
- El ensayo de abrasión realizado conforme la Norma INEN 860, arrojaron un 29% de desgaste del agregado grueso (Ver tabla N°13) por lo que el valor no solo cumple con la especificación establecida para el pavimento asfáltico tradicional, sino que también cumple con el porcentaje que se establece en las especificaciones para pavimentos asfálticos con fibras.
- Para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico se utilizó tres parámetros esenciales los cuales son, el porcentaje de cemento asfáltico para el máximo peso específico “Bulk”, porcentaje de cemento asfáltico para un índice de vacíos igual a 4% y el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima estabilidad, resultando 6,09% de contenido óptimo de cemento asfáltico para pavimentos asfálticos tradicionales y 6,76% de contenido óptimo de asfalto para pavimentos asfálticos con fibra de coco.
- Realizados las briquetas con porcentajes de 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% de cemento asfáltico premezclado con 0,3% de fibras se concluyó que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es de 6,76%, además este valor se encuentra por encima del porcentaje mínimo que deben poseer este tipo de mezclas para asegurar un funcionamiento adecuado de la carpeta asfáltica.

- Para que el pavimento asfáltico tradicional cumpla con las especificaciones, el porcentaje óptimo de asfalto debe ser 6,09, mientras que para que el pavimento asfáltico con fibras cumpla con las especificaciones, el porcentaje de asfalto será de 6,76%.
- El pavimento asfáltico con fibras utiliza un 7,55% más de asfalto que el pavimento asfáltico tradicional lo que no contribuye con el medio ambiente y además incrementa costos.
- Calculados los porcentajes óptimos de asfalto para los pavimentos ensayados, se concluye que en el pavimento asfáltico tradicional posee un comportamiento más estable, siendo así que el valor obtenido de la estabilidad es de 5890 lb muy por encima de la estabilidad obtenida para el pavimento asfáltico con fibras que es de 4750 lb considerando que se usaron los mismos materiales y además se adicionó un agente estabilizador.
- El análisis de costo realizado para los pavimentos, se evidenció que el pavimento asfáltico con fibras es un 3,10% más costoso que el pavimento asfáltico tradicional, por tanto, la implementación de este tipo de pavimentos es poco satisfactorio ya que en obras de gran envergadura vial se requiere en lo posible disminuir costos siempre enmarcados en el uso de materiales de calidad.
- En cuanto tiene que ver si es o no eficiente el pavimento asfáltico con fibras, se dirá que este tipo de pavimentos no posee una eficiencia significativa ya que con el pavimento tradicional se obtiene mayor estabilidad, igual flujo y menor costo.
- Durante el análisis de resultados se observó que los cambios producto por la incorporación de fibras de coco en el asfalto influyeron directamente en la deformación, tal es el caso que a un porcentaje de asfalto de 5% la deformación del pavimento tradicional es 10,69, entretanto que el pavimento con fibras posee un valor de 12,20, mientras que si se aumenta el porcentaje de asfalto a 7% el pavimento asfáltico tradicional sufre un aumento en la deformación igual a 12,75, mientras que el pavimento asfáltico con fibras disminuye su capacidad de deformarse obteniendo

así un valor igual a 11,43. produciendo una reducción en la capacidad estructural del Pavimento.

- Al elaborar las briquetas de los distintos pavimentos ensayados se pudo notar que el pavimento asfáltico con fibras de coco posee un grado de trabajabilidad más alto que pavimento asfáltico tradicional por el motivo del manejo de las fibras.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al momento de calentar el cemento asfáltico no súper la temperatura requerida ya que se puede producir un escurrimiento y evaporación excesiva del asfalto.
- Durante el proceso de moldeado de cada grupo de briquetas, si se lo realiza de forma manual se sugiere ser realizado por una sola persona para que el tiempo de compactación sea el mismo para cada una de las muestras.
- Es importante tener en cuenta realizar el premezclado de la fibra con el cemento asfáltico antes de que este tenga el contacto con los agregados (calientes) ya que si no se encuentra completamente cubierta con asfalto se produce el proceso de calcinamiento.
- Al momento de realizar el mezclado fibra - cemento asfáltico tener mucho cuidado que el cemento asfáltico solo se encuentre a temperatura que proporcione un estado líquido al asfalto para que la fibra al momento de ser introducida no se cocine.
- Si se utiliza fibra natural que no proceda de ninguna industria especializada en el manejo de estas, se verá la forma de en lo posible la eliminación de toda impureza.

MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ing. S. Minaya, Ing. A. Ordoñez “Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos”.
Internet:<https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/acapitulo-10-disec3b1o-de-mezclas-asfc3a1lticas.pdf> [Mayo 02, 2016]
- [2] Emmanuel Castillo Santiago “Propuesta de una mezcla templada tipo S.M.A con Viatop 66” Tesis de título Ing. Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. Febrero 2014
Disponible: <http://tesis.bnct.ipn.mx/handle/123456789/14556> [Abril 18,2016]
- [3] Ing. J. Páramo, Ing. R. Cassan, Ing. D. Marconi, Ing. R. Andreoni. “MESCLAS ASFÁLTICAS ELABORADAS EN FRIO. UTILIZACIÓN DE EMULSIONES MODIFICADAS E INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA”.
Internet: http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2008/rtid08_03.pdf [Abril 19,2016]
- [4] Proyecto mezclas sostenibles medio ambiente amigable. Internet:
http://www.proyectosma.eu/modules/mastop_publish/?tac=Mezclas [Abril 20, 2016]
- [5] O. Rodríguez Landa “Mezclas Sin Mantenimiento Anticipado Stone Mastic Asphalt (SMA)”. Memoria de Título, Ing. Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, Xalapa Enríquez Veracruz, México, Octubre 2011.
Disponible:<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30594/1/RodriguezLanda.pdf> [Abril 22, 2016]
- [6] T. Corrales Chiliquinga. “Propuesta de Método de Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente Como Capa de Alivio”. Título de Tecnólogo, Administración de Proyectos

de la Construcción, Escuela de Formación de Tecnólogos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.

Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11279> [Abril 22, 2016]

- [7] Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta. “Comportamiento Mecánico de las Mezclas Tipo SMA (Stone Mastic Asphalt).” Tesis de Título, Ing. Civil, Facultad de Ingeniería,| Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima, Perú, 2009. Disponible:http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/135/1/paredes_ev.pdf [Septiembre 20, 2016]

- [8] Johanna Chiquito S. y Félix Torres B. “DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL”. Tesis de título de Ing. Civil, Escuela de Ing. Civil, Facultad de Ciencias de la ingeniería, Universidad estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2015

Internet: <http://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2267> [Enero 11,2017]

- [9] F. Moreira. “Diseño de Mezclas Bituminosa”. Pavimentos. Ambato, Ecuador, 2015, p. 7. [Septiembre 22, 2016]

- [10] W. Chimborazo. “Diseño de Mezclas Mediante el Método SUPERPAVE”. Monografía De Titulación, Ing. Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca. 2012.

Disponible: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/760/1/ti887.pdf> [Mayo 20, 2016]

- [11] Ingo. F. Sánchez. “Ligante Bituminosos”



Internet:http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%208.pdf

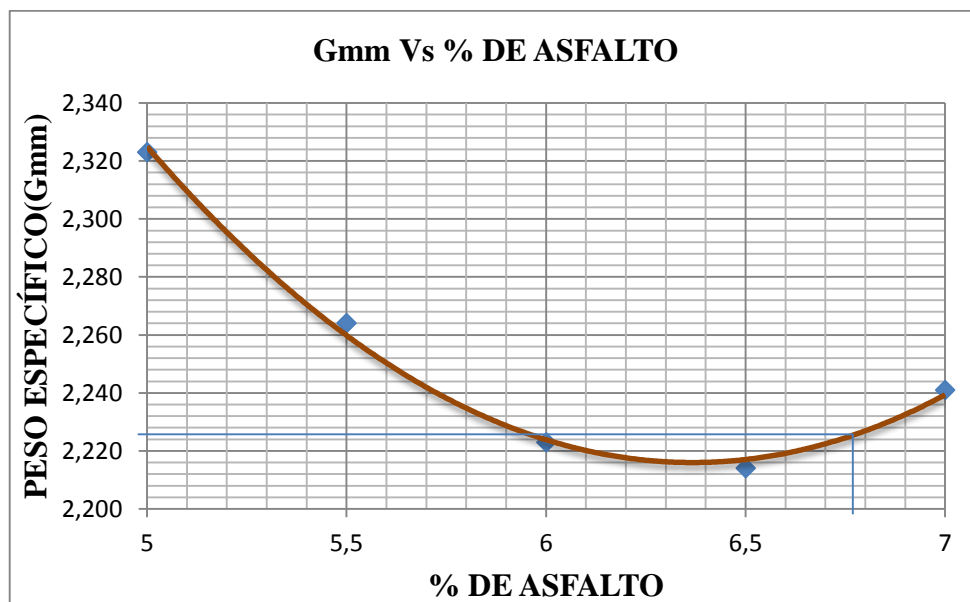
- [12] Red Textil. “Fibra Vegetal”.
Internet:<http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php/fibras/f-diseno/fibras-vegetales> [Mayo 12,2016]
- [13] Ing. F. Diez y Ing. N. Garrido. “Bagazo de caña de azúcar”
Disponible:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar31/HTML/Articulo02N.htm>
- [14] Wikipedia La enciclopedia libre. “Celulosa”.
Internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Celulosa>, [Enero 12,2017]
- [15] C. Preciado y C. Sierra. “Utilización de Fibras Desechadas de Procesos Industriales como Estabilidad de Mezclas Asfálticas SMA”. Tesis de Titulo, Ing. Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2013.
Disponible:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11152/PreciadoBolivarCarlosAlberto2013.pdf?sequence=1>
- [16] Gallart F. “Evaluación en Laboratorio de la Durabilidad de Mezclas Bituminosas Tipo SMA”. Proyecto o Tesina D’Especialitat, Escola Técnica Superior d’Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. 2011. Disponible: <https://es.scribd.com/document/324233213/01-Memoria-SMA-pdf>
- [17] N. Villegas y R. Vélez. “Elaboración de Módulos Estructurales a Base de Fibra de Estopa de Coco Para Viviendas de Bajo Costo”. Tesis de Titulo, Ing. Químico, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, Julio 2007.
Disponible:<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1650/1/1013.pdf>
- [18] NORMA INEN 856
- [19] NORMA INEN 857

- [20] Suarez J. y Wong L. “Exportación de Manufacturas de Fibras de Coco” Proyecto de Investigación, Licenciado en Comercio Exterior, Escuela de comercio exterior, Universidad Laica Vicente Rocafuerte De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2011. Disponible:<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/471/1/T-ULVR-0378.pdf> [Septiembre 22, 2016]
- [21] V. Cajas y A. Iglesias “Utilización de Escorias Siderúrgicas Para el Mejoramiento de Mezclas Asfálticas en Frio”. Tesis de Título, Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil, Pontificia Universidad Católica de Ecuador.2010 Disponibles:<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3594/T-PUCE-3604.pdf?sequence=1>
- [22] Ing. Adriana Acosta V. “Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulo de Rigidez para Mezclas Asfálticas en Caliente, Empleado Agregados Pétreos del Distrito Metropolitano de Quito.” Disertación previa a la obtención del título de maestría en Ingeniería Vial, facultad de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2014. Disponible:<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7880/9.80.000579.pdf?...4>.
- [23] Universidad Técnica del Norte “Capítulo 1, fibras de algodón”
Internet: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/631/1/capitulo1.pdf>
[Enero 11,2017]

2. ANEXOS



Anexo A – 1. Ensayo del peso específico máximo teórico Método RICE para pavimento asfáltico con fibras.

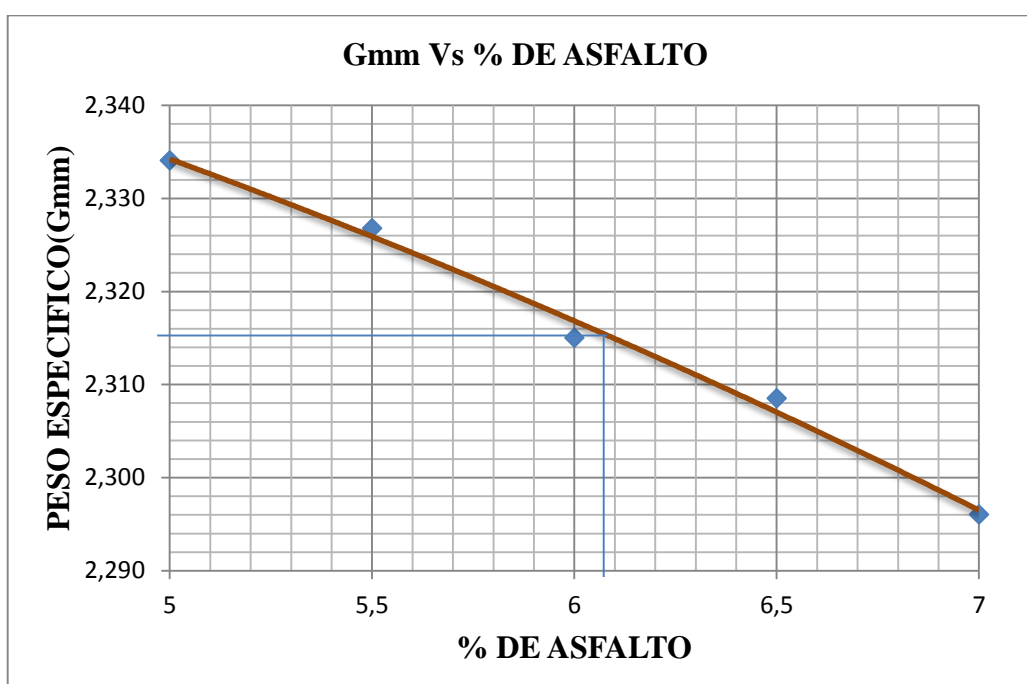
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTOS ASFÁLTICO TRADICIONAL”					
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCCIONES				
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	31/082016		
NORMA:	ASTM D 2041				
SITIO:	LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES DEL GADM AMBATO				
Determinación del peso específico máxima teórica (RICE) para diferentes % De Asfalto					
Porcentaje de asfalto	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Peso frasco +agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
Peso del picnómetro	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2
Peso del picnómetro + muestra	3960,3	4027	3979	3950,8	3972,2
Peso muestra	1057,1	1123,8	1075,8	1047,6	1069
Peso muestra +frasco +agua a 25°C	8008,6	8034	8017,2	7980,9	7998,4
Gmm = C/C-(E-D)	2,323	2,264	2,313	2,214	2,241



% DE ASFALTO OPTIMO	6,76
RICE DE LA MEZCLA OPTIMO (Gmm)	2,228

Anexo A -2: Ensayo del peso específico máximo teórico método RICE para pavimento asfáltico tradicional.


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL”					
ORIGEN:	JEAL CONSTRUCCIONES				
REALIZADO POR:	Cristian Elías Jiménez Rojano	FECHA:	02/092016		
NORMA:	ASTM D 2041				
SITIO:	LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES DEL GADM AMBATO				
Determinación del peso específico máxima teórica (RICE) para diferentes % De Asfalto					
Porcentaje de asfalto	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Peso frasco +agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
Peso del picnómetro	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2	2903,2
Peso del picnómetro + Muestra	3932,3	3993,3	4012,8	4011,3	4013,8
Peso muestra	1029,1	1090,1	1109,6	1108,1	1110,6
Peso muestra +frasco +agua a 25°C	7994,7	8028,1	8036,8	8034,6	8033,4
Gmm = C/C- (E-D)	2,334	2,327	2,315	2,309	2,296



% DE ASFALTO OPTIMO	6,09
RICE DE LA MEZCLA OPTIMO (Gmm)	2,315

Anexo A – 3: Ficha técnica del cemento asfáltico AC-20, proporcionado por JEAL CONSTRUCCIONES

EP - PETROEQUADOR INFORME DE RESULTADOS



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con
 ACREDITACIÓN No. DAE I.E.C.13-002 2013.06.04.

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACIÓN **REFERENCIA:** PROGRAMA DE TRANSFERENCIA IL-240
ORGANIZACIÓN: M01_REFINERÍA ESMERALDAS **PRODUCTO ANALIZADO:** 0280 ASEA-TQ AC-20
INFORME NO.: M01-736-2016 **CODIGO MUESTRA:** ECC-16-2434

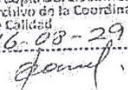
DATOS CLIENTE			
NOMBRE	INTENDENTE DE OPERACIONES ESMERALDAS (ING. ANTONIO MORALES)		
DIRECCIÓN	Km 7 1/2 Antigua Vía Atacames		
TELÉFONO	062994000 (80904)		
SOLICITADO POR	ING. REMIGIO PACHECO JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN		


DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V13	HORA TOMA DE MUESTRA	20:45:00
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2016/08/27		
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml		
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2016/08/27	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	20:50:00
LUGAR TOMA DE MUESTRA	SETRIA	PUNTO DE MUESTREO	A-FORO DEL TANQUE

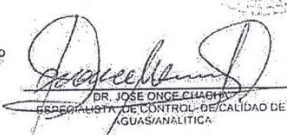
DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	24.2 °C	PRESIÓN BAROMÉTRICA	100.7 kPa
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	67.7 %HR	FECHA FINALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	2016/08/28 02:15:00
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2016/08/29		

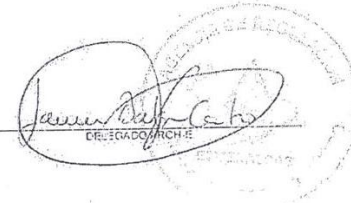
PARAMETRO	METODO		ESPECIFICACION		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	UP
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MIN.	MAX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	150	240	199.0	P.a.s	± 2.0%
VISCOSIDAD CINEMATICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	200	-	332.0	mm ² /s	± 1.0%
PENETRACION 77 °F (25 °C, 100 G, 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	60	-	7.3	0.1mm	± 0.1mm
PUNTO DE INFLAMACION: COPA ABIERTA CLEVELAND	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	292	-	296	°C	± 4°C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2642_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99.9	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELICULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A	-	N/A	N	-	-	-
VISCOSIDAD 60 °C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	800	639.0	P.a.s	± 2.0%
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	50	-	60.0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2310	-	REPORTE	REPORTE	5.7	*API	± 0.1%
GRAVEDAD ESPECIFICA 60/60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2310	-	REPORTE	REPORTE	1.0239	-	-
GRAVEDAD ESPECIFICA 25/25 °C*	ASTM 70	-	REPORTE	REPORTE	-	-	-
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36	-	-	-	48.0	°C	-
INDICE DE PENETRACION*	ASTM D5	-	-	-	-0.8	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	-	-0.1	%P	-


TAPI OBSERVADO: 14.595
 TEMPERATURA OBSERVADA: 60.6 °C
 OBSERVACIONES:

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




FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

 DR. JOSE ONCE CUAQUE
 GERENTE GENERAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS ANALITICA




 ING. REMIGIO PACHECO

NOTAS:
 Los resultados se refieren únicamente a los objetos sometidos a ensayos.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del LCC-M01.
 Los ensayos marcados con (*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE.
 (1) Refiriendo a la Norma INEN NTE 2615:2014 Enmienda 1
 (2) La U es estimada Multiplicando la U Típica por el factor de cobertura K=2 (95% nivel de confianza)

Dirección Organización: Km 7 1/2 ANTIGUA VIA ATACAMES Formato: V03.06.01.03-FO-310 (V16-2012-01-25)

Página 1 de 1

Anexo B - 1. Obtención de la fibra de coco

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Casará del coco desechado</p>	<p>Secado de fibras</p>	
		
<p>Separación de la fibra</p>	<p>Fibras libres de impurezas</p>	
		
<p>Fibras seleccionada</p>		

Anexo B - 2. Ensayo de desgaste

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Eliminación de impurezas</p>	<p>Pesado en seco de las partículas</p>	
		
<p>Sellado del tambor rotatorio</p>	<p>Extracción de muestra desgastada</p>	
		
<p>Muestra extraída de la máquina de los Ángeles</p>	<p>Tamizado de la muestra</p>	








Anexo B - 3. Determinación del peso específico del agregado grueso.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Secado superficial de las partículas</p>	<p>Pesado de la muestra</p>	
		
<p>Peso muestra en el aire</p>	<p>Peso muestra en agua</p>	
		
<p>Toma de temperatura</p>		

Anexo B - 4. Determinación del peso específico del agregado fino.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Equipos utilizados</p>	<p>Muestra Saturado superficie seca</p>	
		
<p>Peso picnómetro con agua</p>	<p>Expulsión de aire</p>	
		
<p>Peso agua, muestra y picnómetro</p>	<p>Peso muestra después de 24 horas en aire</p>	

Anexo B - 5. Preparación de probetas

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Calentado de moldes</p>		
		
<p>Pesado de fibra</p>	<p>Premezclado de fibra</p>	
		
<p>Control de temperatura</p>	<p>Preparación de los agregados</p>	



Vertido del asfalto en el agregado



Mezclado del asfalto



Moldeado



Probetas

Anexo B - 6. Determinación peso específico “Bulk”

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Probetas elaboradas con 0,3 de fibra</p>	<p>Toma del espesor de la probeta</p>	
		
<p>Peso en gramos seco en aire</p>	<p>Saturación de la bobeta</p>	
		
<p>Peso en gramos en agua</p>		

Anexos B – 7. Ensayo Marshall

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Baño agua maría</p>	<p>Secado de fibras</p>	
		
<p>Pesado de fibra</p>	<p>Premezclado de fibra</p>	

Anexo B - 8. Determinación peso específico método RICE.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	
		
<p>Preparación de la muestra</p>	<p>Toma del espesor de la probeta</p>	
		
<p>Expulsión de aire manual del agregado</p>	<p>Preparación máquina de vacíos</p>	
		
<p>Succión de aire</p>	<p>Peso final</p>	