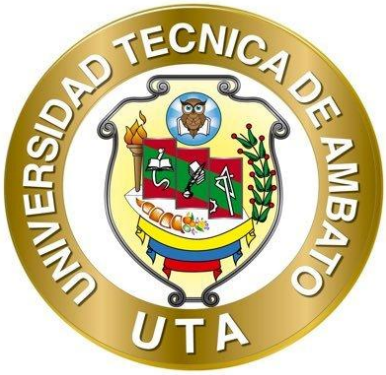


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"Evaluación del comportamiento de las propiedades mecánicas del asfalto utilizando fibra de caña de azúcar con asfalto reciclado"

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

AUTOR:

Jonathan Valentin Yanza Guanina

TUTOR:

Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez, PhD.

Ambato - Ecuador

Junio - 2026

APROBACIÓN DE TUTOR

En mi calidad de Tutor Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO",** elaborado por el estudiante Jonathan Valentin Yanza Guanina portador de la cedula de ciudadanía número 1804895751, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, junio 2026

.....

Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez, PhD.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jonathan Valentin Yanza Guanina**, con C.I: 1804895751, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo experimental con el tema: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, junio 2026

.....

Jonathan Valentin Yanza Guanina

C.I: 1804895751

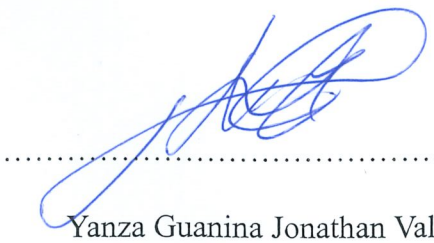
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, junio 2026



.....

Yanza Guanina Jonathan Valentin

C.I: 1804895751

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el trabajo experimental, realizado por el estudiante **Jonathan Valentin Yanza Guanina**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"**

Ambato, junio 2026

Para constancia firma:

.....

Ing. Jorge Lenin León Arcos Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

.....

Ing. Cañizares Proaño Byron Genaro Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo de titulación a mi familia en especial a mis padres que con su apoyo incondicional construyeron el camino que hoy me permite llegar a este punto, cada esfuerzo, cada desvelo, cada palabra de aliento quedan grabados en cada página de este trabajo. Cada decisión tomada, obstáculo superado y logros conseguidos llevan implícita su huella, pues sin su respaldo y su guía este camino recorrido habría sido considerablemente más difícil de recorrer, a ellos que antepusieron mis sueños ante sus propias necesidades para que este logro sea fruto de todo lo que sembraron en mí, gracias por ser mi mayor ejemplo y mi motivación más sincera, este logro es un tributo a su entrega y dedicación.

Jonathan Valentin Yanza Guanina

AGRADECIMIENTO

Expresando un sincero agradecimiento a mis padres y mis hermanos que han sido el ejemplo y el pilar fundamental que me han brindado su apoyo incondicional, este logro es fruto del sacrificio, ejemplo y el amor que me han demostrado durante mi formación académica, sus palabras, consejos han sido mi motivación para motivarme a seguir adelante.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis amigos quienes han estado compartiendo experiencias, desafíos y momentos que hicieron más llevadero este proceso, gracias por esa amistad que se ha ido construyendo en base al estudio, el trabajo académico, confianza y compañerismo.

De manera especial agradezco a los docentes que contribuyeron directamente a este proceso académico con su orientación, brindando sus consejos, realizando observaciones y compartiendo sus experiencias que han sido parte fundamental para desarrollar mis habilidades profesionales y personales.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS ix
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xv
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xvi
RESUMEN EJECUTIVO xvii
ABSTRACT xviii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 3
III. OBJETIVOS 7
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 8
I. EQUIPOS Y MATERIALES 8
II. MÉTODOS 9
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 28
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 72
A. HIPÓTESIS 72
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 73
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74
I. CONCLUSIONES 74
II. RECOMENDACIONES 75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Adquisición de materiales pétreos. 10
Fig. 2 Lugar de tomas de medidas y muestras de asfalto en la Av. Pedro Fermín Cevallos. .. 10
Fig. 3 Medición de la carpeta asfáltica en la excavación de la calicata. 11
Fig. 4 Recolección de materiales para el análisis de laboratorio. 12
Fig. 5 Tratamiento de la fibra de caña de azúcar. 13
Fig. 6 Secado de fibra a temperatura ambiente. 13
Fig. 7 Enrazado del material pétreo en el molde. 14
Fig. 8 Tamizado de los agregados. 15
Fig. 9 Ensayo en la máquina de los ángeles. 17
Fig. 10 Ensayo de gravedad especifica 18
Fig. 11 Ensayo de centrifugación del pavimento asfaltico reciclado 20
Fig. 12 Elaboración de briquetas - Ensayo Marshall 22
Fig. 13 Briquetas elaboradas con distintas dosificaciones 23
Fig. 14 Ensayo en la máquina de ensayo Marshall 23
Fig. 15 Ensayo en la máquina de ensayo Marshall 27
Fig. 16 Adquisición de materiales pétreos. 29
Fig. 17 Extracción del pavimento asfaltico reciclado. 29
Fig. 18 Curva granulométrica de los agregados pétreos 32
Fig. 19 Curva granulométrica del RAP 32
Fig. 21 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional 40
Fig. 22 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional 40
Fig. 23 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional 41
Fig. 24 Vacíos en agregaos minerales vs. Contenido de asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional 42
Fig. 25 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional. .. 42
Fig. 26 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional 43
Fig. 27 Resultado peso específico BulK vs contenido AC-20 mezcla asfáltica modificada, 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar 49
Fig. 28 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar 49
Fig. 29 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar. 50
Fig. 30 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña De Azúcar. 51
Fig. 31 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña. 51
Fig. 32 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña 52

Fig. 33 Resultado peso específico BulK vs contenido AC-20 mezcla asfáltica modificada, 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar. 53
Fig. 34 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar. 53
Fig. 35 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar. 54
Fig. 36 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 20.00% RAP Y 0.30% De Fibra De Caña De Azúcar. 55
Fig. 37 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 20.00% RAP Y 0.30% De Fibra De Caña. 56
Fig. 38 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña..... 56
Fig. 39 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar. 57
Fig. 40 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar..... 57
Fig. 41 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar. 58
Fig. 42 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña De Azúcar. 59
Fig. 43 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña. 60
Fig. 44 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña..... 60
Fig. 45 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 5.5% de AC-20 61
Fig. 46 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.0% de AC-20 62
Fig. 47 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.5% de AC-20 62
Fig. 48 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 5.5% AC – 20..... 63
Fig. 49 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.0% AC – 20..... 64
Fig. 50 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.5% AC – 20..... 64
Fig. 51 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 5.5% AC – 20 65
Fig. 52 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.0% AC – 20 65
Fig. 53 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.5% AC – 20 66
Fig. 54 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 5.5% AC – 20 67

Fig. 55 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.0% AC – 20 67
Fig. 58 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 6.0% AC – 20 69
Fig. 59 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 6.5% AC – 20 70
Fig. 60 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 5.5% AC – 20 70
Fig. 61 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.0% AC – 20 71
Fig. 62 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.5% AC – 20 71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I REQUISITOS ENSAYO GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA EN PLANTA 15

TABLA II SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (BASADO EN EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ NÚM. 75)..... 16

TABLA III CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS MARSHALL..... 24

TABLA IV UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS..... 28

TABLA V UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO 29

TABLA VI Resultados del ensayo de pesos unitarios de los agregados gruesos y finos 30

TABLA VII RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA “Mina Ambato-MTOP” (RAP) 31

Fig. 20 Curva Granulométrica - Agregado Fino 33

TABLA VIII RESULTADOS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO 33

TABLA IX RESULTADOS RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS..... 34

TABLA X RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS 34

TABLA XI RESULTADO DEL ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 35

TABLA XII RESULTADOS PORCENTAJE DE ASFALTO DEL RAP..... 35

TABLA XIII DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 36

TABLA XIV DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RAP EN LA MEZCLA ASFÁLTICA 36

TABLA XV FÓRMULA MAESTRA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL 36

TABLA XVI RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL 37

TABLA XVII RESULTADOS ENSAYO RICE - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP..... 37

TABLA XVIII RESULTADOS ENSAYO RICE - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP..... 38

TABLA XIX RESULTADOS ENSAYO RICE- MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP..... 38

TABLA XX RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL..... 39

TABLA XXI CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL 41

TABLA XXII ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP 44

TABLA XXIII ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP 44

TABLA XXIV ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP 44

TABLA XXV RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP 45

TABLA XXVI RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP 45

TABLA XXVII RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP 45

TABLA XXVIII RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP 46

TABLA XXIX RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP 46

TABLA XXX RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP 47

TABLA XXXI CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 10.00% RAP Y 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL 50

TABLA XXXII CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 20.00% RAP Y 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL 54

TABLA XXXIII CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 30.00% RAP Y 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL 58

Fig. 56 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.5% AC – 20 68

Fig. 57 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 5.5% AC – 20 68

TABLA XXXIV VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 5.5% DE AC - 20 73

TABLA XXXV VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.0% DE AC - 20 73

TABLA XXXVI VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.5% DE AC - 20 73

TABLA XXXVII PESOS UNITARIOS CON AGREGADO DE LA PLANTA MINA AMBATO-MTOP 80

TABLA XXXVIII GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA PLANTA MINA AMBATO-MTOP 82

TABLA XXXIX GRANULOMETRÍA DEL PAVIMENTOS ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) 83

TABLA XL GRANULOMETRÍA CON EL AGREGADO FINO 84

TABLA XLI CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO 85

TABLA XLII CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR ... 86

TABLA XLIII ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS 87

TABLA XLIV GRAVEDAD O DENSIDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS 88

TABLA XLV RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL 90

TABLA XLVI RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 10% RAP – 0.2% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 91

TABLA XLVII RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 92

TABLA XLVIII RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 30% RAP – 0.4% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 93

TABLA XLIX RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL 94

TABLA L RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 10% RAP – 0.2% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR 95

TABLA LI RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR 95

TABLA LII RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 30% RAP – 0.4% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR 96

TABLA LIII APU: MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA 97

TABLA LIV APU: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN PLANTA 98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS 80

a) Anexo 1. Resultados del ensayo de pesos unitarios: 80

b) Anexo 2. Resultados del ensayo granulométrico de los agregados pétreos: 82

c) Anexo 3. Resultados del ensayo granulométrico del RAP: 83

d) Anexo 4. Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino: 84

e) Anexo 5. Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado fino: 85

f) Anexo 6. Resultados del ensayo contenido de humedad de la fibra de caña de azúcar tratada: 86

g) Anexo 7. Resultados del ensayo de abrasión: 87

h) Anexo 8. Resultados del ensayo de gravedad específica agregados: 88

i) Anexo 9. Resultados del ensayo centrifugado RAP: 89

j) Anexo 10. Resultados del ensayo RICE 90

k) Anexo 11. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas asfálticas tradicionales 94

l) Anexo 12. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas Asfálticas Modificadas 95

m) Anexo 13. APU: Mezcla Asfáltica Tradicional en planta: 97

n) Anexo 14. APU: Mezcla Asfáltica Modificada en planta: 98

o) Anexo 15. Anexos Fotográficos 99

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing and Materials

MOP: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones

AASHTO: Association of State Highway and Transportation

RAP: Pavimento Asfáltico Reciclado

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

CCN: Ceniza de Cáscara de Nuez

HMA: Mezcla Caliente De Asfalto

RESUMEN EJECUTIVO

El crecimiento de la infraestructura vial en Ecuador en los últimos años y con el pasar del tiempo se evidencia un deterioro motivos por los cuales han impulsado a buscar alternativas fiables y sostenibles que permitan mejorar el desempeño del pavimento asfáltico. En base a este contexto buscamos un aprovechamiento de residuos resultantes de las vías asfaltadas e industrias agroindustriales, se presenta una alternativa que permita aprovechar estos materiales residuales al mismo tiempo que permita disminuir el impacto en el medio ambiente.

En la presente investigación se realizó su ejecución en tres etapas siendo la primera la elección de obtención de los materiales a utilizar. En la segunda fase los materiales y agregados fueron sometidos a diversos ensayos de caracterización, finalmente los ensayos Rice y método Marshall con el cual se determina las propiedades de flujo, estabilidad y vacíos llenos de asfalto. Se añadió fibras de caña de azúcar previamente tratada para su aplicación ideal, en diferentes proporciones, partiendo de las mezclas asfálticas tradicionales con proporciones de asfalto tipo AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%. de igual manera con las mismas proporciones de asfalto AC-20, añadiendo pavimento asfaltico reciclado (RAP) y fibra de caña se generó mezclas asfálticas modificadas al 0.2% de fibra y 10% de RAP, 0.3% de fibra y 20% de RAP, 0.4% de fibra y 30% de RAP, para finalmente en la tercera fase ser analizadas mediante una comparación respecto a los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas tradicionales con las mezclas asfálticas modificadas.

Palabras clave: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA, FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR, PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO (RAP), PROPIEDADES MECÁNICAS, MARSHALL.

ABSTRACT

The growth of road infrastructure in Ecuador in recent years has, over time, shown evident deterioration, which has driven the search for reliable and sustainable alternatives to improve the performance of asphalt pavement. Based on this context, and seeking to make use of waste materials resulting from paved roads and agroindustrial industries, an alternative is presented that takes advantage of these residual materials while simultaneously reducing environmental impact.

In this research, the study was carried out in three stages, the first being the selection and sourcing of the materials to be used. In the second phase, the materials and aggregates were subjected to various characterization tests; finally, the Rice test and Marshall method were applied, through which flow properties, stability, and asphalt-filled voids are determined. Pre-treated sugarcane fibers were added for optimal application in different proportions, starting from traditional asphalt mixtures with AC-20 asphalt proportions at percentages of 5.5%, 6.0%, and 6.5%. Likewise, using the same proportions of AC-20 asphalt and adding Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and sugarcane fiber, modified asphalt mixtures were produced at 0.2% fiber and 10% RAP, 0.3% fiber and 20% RAP, and 0.4% fiber and 30% RAP. Finally, in the third phase, these were analyzed through a comparison of the results obtained from the traditional asphalt mixtures against the modified asphalt mixtures.

Keywords: MODIFIED ASPHALT MIXTURE, SUGARCANE FIBER, RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP), MECHANICAL PROPERTIES, MARSHALL.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se centra en la búsqueda de una alternativa que permita mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón asfaltico, el desempeño de la capa de rodadura, esta última a encontrarse en contacto directo y constante con agentes adversos es susceptible a procesos de envejecimiento y degradación que afectan sus propiedades físicas y mecánicas. En este contexto plantea un análisis a nivel de laboratorio para determinar características con datos confiables, utilizando materiales recuperados de un pavimento asfaltico y la incorporación de fibras de caña de azúcar. [1]

Ecuador, al ser un país con importante actividad en la industria azucarera proveniente de la caña de azúcar, genera una gran cantidad de residuos agroindustriales según datos obtenidos de CFN - Subgerencia de Análisis e Información, (2017), la producción nacional alcanza aproximadamente 8 toneladas métricas de caña de azúcar, de cada tonelada se genera un cerca de 250 kg corresponden al residuo conocido como bagazo. Este subproducto presenta un alto potencial de aprovechamiento en diferentes industrias gracias a su versatilidad y sus propiedades físicas y mecánicas. [2]

En la provincia de Tungurahua, específicamente en el cantón Baños De Agua Santa se evidencia una gran problemática asociada a la elevada generación de bagazo de caña, al igual que su manejo inapropiado, con una producción aproximada de 1.44 toneladas al día de bagazo, el cual genera impactos negativos al medio ambiente, debido a su acumulación y tiempo de descomposición. No obstante, el bagazo de caña de azúcar posee favorables características mecánicas y físicas que permiten su aprovechamiento como material complementario en la mezcla asfáltica modificada, contribuyendo simultáneamente a la mitigación del impacto ambiental y mejorando las propiedades del pavimento asfáltico. [3]

La limitada investigación en cuanto al aprovechamiento de estos materiales ha provocado que, este tipo de materiales sean considerados desechos sin valor. En este sentido, el presente estudio busca generar una solución a esta problemática mediante la reutilización del bagazo implementado en la mezcla asfáltica modificada, para su implementación el bagazo debe cumplir ciertos estándares lo cual implica conocer su composición, la cuál es aproximadamente 50% de humedad, 5% de sólidos solubles, y 45% de sólidos insolubles o fibra cruda, además de estar constituido principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y cenizas. Por ello la caña de azúcar debe someterse a un proceso de tratamiento que permita reducir y controlar estos

patógenos, garantizando así condiciones óptimas de la fibra para su implementación en la mezcla modificada. [2]

Dado el creciente interés en el uso de las fibras naturales en las mezclas asfálticas, es posible apoyarse con criterios establecidos en investigaciones previas tomando como referencia las técnicas aplicadas para su adecuada implementación, es posible apoyarse con criterios establecidos en estas investigaciones en cuanto a las dosificaciones, esto permite garantizar que el material resultante cumpla con cierto grado de calidad, para determinar las propiedades físicas y mecánicas es fundamental la elaboración de briquetas de la mezcla asfáltica modificada, las cuales serán sometidas a pruebas de laboratorio que permitan de una manera precisa obtener datos qué evalúan su comportamiento físico y mecánico. [3]

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para sustentar adecuadamente la presente investigación, es imprescindible recurrir a investigaciones previos relacionados al tema propuesto y fuentes confiables, en este sentido resulta fundamental analizar investigaciones que aborden información sobre el uso de materiales reciclados en mezclas asfálticas, así como el empleo de fibras naturales como agentes modificadores. De igual manera, es primordial comprender las características del asfalto reciclado, para ello es importante conocer su composición, hostales como el tamaño de las partículas, condiciones de reutilización, y propiedades de los agregados, con el fin de garantizar una adecuada incorporación de agregados y fibra en la mezcla asfáltica reciclada modificada para obtener un producto de calidad.

En el contexto histórico del Ecuador los primeros índices de vías asfaltadas construidas datan después de la crisis del cacao por los años de la década de 1920, para la década de 1960, Se definió gran parte de la infraestructura vial que permanece hasta la actualidad, impulsando el desarrollo económico del país mediante la consolidación de un sistema de transporte basado en caminos, ferrocarriles y vías fluviales que permitiera la conexión entre provincias. [4]

El nivel internacional, el reciclaje de pavimento de asfálticos comenzó a desarrollarse con énfasis en las décadas de 1970 y 1980, siendo en el año 1973 El año en el que se dio la crisis petrolera, lo cual impulsó al desarrollo de técnicas de reciclaje de pavimentación los cuales los primeros fueron realizados en Estados Unidos en los estados de Texas y California con el uso del cemento asfáltico fresado. [5]

En el análisis de la infraestructura vial se presenta un tema de suma relevancia que infiere directamente en la eficiencia del transporte, seguridad vial y por ende en el crecimiento económico. La necesidad de mantener la infraestructura vial en óptimas condiciones destaca el papel fundamental de la innovación, empleando métodos que sean óptimos ayudando a resolver o mejorar las condiciones de la problemática presente en las vías asfaltadas. [6]

Según Bryan Muñoz en el año 2024 Realizó una investigación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usando fibra de bagazo de caña de azúcar, en la cual mediante el método Marshall realizó las evaluaciones correspondientes para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas, llegando a resultados de mejoras considerables en cuanto a la resistencia a la tracción, el índice de retención, y la resistencia de la mezcla de pavimento asfáltico modificado. [7]

El Ecuador está compuesto por una infraestructura vial de calles urbanas, rurales, avenidas, autopistas, carreteras, caminos vecinales y otras obras de infraestructura en las vías Con el propósito de mejorar el tránsito vehicular y la movilidad para su población. Según los datos del ministerio de transporte el Ecuador tiene aproximadamente 42.67 km de vías, las cuales aproximadamente el 74% son vías pavimentadas, tenemos la red estatal cuyo responsable es del gobierno nacional la cual tiene una extensión de aproximadamente 12.477 km correspondiente a un 92% pavimentado, las redes provinciales están bajo el cargo de los consejos provinciales correspondientemente, las cuales tienen una extensión de 22.540 km con un 2% pavimentado, finalmente tenemos las redes cantonales que se encuentran a cargo de los consejos municipales. Teniendo de esta manera un aproximado del 36% de la red vial estatal y provincial Además de los caminos vecinales concentrados en la sierra ecuatoriana con características óptimas para su transpirabilidad. [8]

La organización de naciones unidas entre los daños 2011-2020 como Decenio de Acción, En base a las cifras de víctimas mortales fijó un objetivo de estabilizar y minimizar estas cifras de accidentes de tránsito en todo el mundo mediante el aumento de actividades conforme a los planes nacionales, regionales y mundiales. Uno de los planes muy conocidos es el buen vivir, que se enfoca de cierta manera en la aplicación de medidas de seguridad y el desarrollo de campañas de difusión y concientización con el fin de disminuir el índice de mortalidad por causa de los accidentes. [9]

El MTOP es la entidad responsable de la seguridad vial en la cual se deriva la construcción y mantenimiento de obras así como la infraestructura, señalización, los recursos se destinan de medida prioritaria a mejorar el estado de las carreteras mejorando a nivel nacional notablemente su infraestructura e incrementando su cobertura y calidad de vías, adecuándolas con su respectiva señalización horizontal y vertical además de las instalaciones de barreras, protectores, y muchos de otros elementos que forman parte esencial de las vías. [10]

Las vías al estar expuestas a condiciones naturales y por el mismo trabajo que realizan con el pasar del tiempo se genera un deterioro superficial los cuales mediante un sistema de clasificación y valoración se puede determinar la condición de un pavimento, para realizar un respectivo análisis de mantenimiento o reparación. [10]

Los pavimentos asfalticos reciclados son una idea que se tiene registros de sus principios en Estados Unidos en el Año 1915, las propiedades de los materiales que forman parte del asfalto dependen del tipo de mezcla asfáltica que provienen, no siempre provienen de una misma obra

y se puede encontrar con una variación en cuanto a la calidad de áridos, agregados y tipo de ligante. Debido a las variaciones de los agregados debe ser controlada en la mezcla realizando la de la manera más homogénea posible, pare ello existen ciertos estándares normalizados en los que se determina ciertas tolerancias ya sea en las variaciones granulométricas y procesos de por los cuales deben pasar los agregados para ser implementados en una mezcla asfáltica. [11]

El reciclaje de pavimentos asfalticos se puede generar de diferentes maneras, actualmente existe maquinaria que facilita el proceso y tratamiento de los mismos, los procesos pueden ser de manera fría o caliente es decir, para el reciclaje de asfaltos en frio requiere de agentes rejuvenecedores que permitan que el material pueda ser usado en Mezclas futuras, en cambio el asfalto reciclado en caliente depende de una mezcla en caliente nueva con agregados de asfalto nuevo compuestas en parte por el material reciclado. [12]

Las fallas más comunes que se presentan en los pavimentos asfálticos incluyen la formación de surcos causadas por tensiones a las que está sometida la estructura asfáltica, generalmente se presenta en forma de agrietamiento debido a la fatiga generada por las cargas vehiculares y factores ambientales como la temperatura, humedad y envejecimiento, lo que reduce considerablemente la vida útil del pavimento asfáltico, existen métodos de reparación, estas suelen ser temporales debido a la repartición de imperfecciones, estudios han demostrado que la incorporación de fibras sintéticas y naturales ando en mostrado incrementar la resistencia a la fractura, la disminución en la formación de surcos y el mejoramiento frente a los cambios de temperatura. [13]

Las fibras naturales como la caña de azúcar necesitan contrarrestar la degradación física y química, física por la humedad que impregna en la fibra y la química por la reacción del agua al incorporarse en la fibra. Para evitar la degradación de la fibra natural en un medio alcalino utilizaremos una solución de hidróxido de calcio al 5% de concentración con las fibras naturales que son el agua potable, la cal hidratada ($Ca(OH)_2$) y la fibra totalmente sumergida, se deja reposar por 48 horas, luego de este tiempo se remueve la solución y se sumerge las fibras en un periodo de 24 horas en agua potable a temperatura ambiente, terminado este proceso se procede a lavar la fibra con abundante agua para dejar el elemento en lo posible libre de agentes extraños, luego pasa por un proceso de secado al natural, este proceso se realiza con el fin de evitar la proliferación de bacterias y mejorar las características de la fibra. [14]

El contenido de asfalto en pavimentos reciclados se realiza generalmente en base a la norma ASTM D 2172 y mediante un equipo de centrifugación con el fin de determinar la cantidad de

asfalto presente, para una preparación adecuada del material es necesario secarlo al horno, una vez seca la muestra se coloca en el extractor conjuntamente del solvente o gasolina y se deja reposar por un determinado tiempo para un mejor efecto del solvente en la muestra, finalmente se coloca su respectivo filtro, los respectivos seguros y se enciende la máquina para que realice su trabajo, el proceso es indispensable repetirlo por varias veces hasta obtener un material lo suficientemente libre de ligante asfaltico. Mediante la diferencia de pesos se determina el porcentaje real del ligante contenido en el RAP analizado. [15]

El diseño de la Mezcla asfáltica debe llevarse a cabo con respecto a ciertos parámetros detallados en sus respectivas normativas para realizar este ensayo, generalmente se realiza la elaboración de briquetas que son de forma cilíndrica compactadas mediante golpes, la importancia de la aplicación de las normativas es para garantizar que se llegue a un nivel óptimo de ligante, numero de golpes, tamaños y cantidades de agregados, además de la temperatura a la que se puede ensayar, esto para satisfacer los parámetros de estabilidad, flujo, densidad y contenido de vacíos exigidos por las especificaciones técnicas vigentes, mediante esta determinación se puede determinar la adaptabilidad y comportamiento que puede tener frente a ciertas condiciones de tráfico y el clima. [16]

Las mezclas asfálticas modificadas requieren de ensayos para determinar variaciones en su comportamiento físico, mecánico a comparación de una mezcla tradicional, para ello existe un método denominado Marshall, mediante el cual se ensaya unas briquetas previamente realizadas y conformadas mediante dosificaciones establecidas en las normas locales vigentes. Mediante este ensayo determinamos el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con agregación de un porcentaje de pavimento asfaltico reciclado y fibra de caña de azúcar conjuntamente de su respectiva dosificación de agregados y betún para posteriormente ser analizadas y obtener datos que representen parámetros y determinar si la mezcla presentara mejoras en sus propiedades de estabilidad y flujo. [17]

Adicionalmente se realiza un ensayo conocido como Rice el que consiste el cual se encuentra regulado por la norma ASTM D 2041, es un procedimiento de suma importancia dentro del diseño y control de calidad de las Mezclas asfálticas, con el cual se trata de obtener un valor de densidad máxima teórica que podría alcanzar la Mezcla asfáltica si no contuviera vacíos de aire en su interior, conforme a los resultados de este ensayo se puede determinar la durabilidad y el comportamiento estructural que podrá tener el pavimento asfaltico a lo largo de su tiempo de servicio en campo. [18]

III. OBJETIVOS

1) OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas del asfalto utilizando fibra de caña de azúcar con asfalto reciclado.

2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el lugar de extracción de materiales necesarios para la elaboración de briquetas asfálticas.
- Elaborar briquetas de asfalto en base a los ensayos de caracterización (análisis granulométrico, ensayo de abrasión, método Marshall y ensayo Rice), con la adición de la fibra de caña de azúcar.
- Establecer un análisis comparativo con los valores obtenidos entre las mezclas asfálticas modificadas, y la mezcla tradicional para determinar el grado de efectividad.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevará a cabo en tres fases, siendo la fase uno de investigación y extracción de materiales que serán necesarios para las siguientes fases, la obtención del asfalto directamente desde la vía. En la fase dos las muestras y agregados serán analizadas mediante ensayos como son el Granulométrico, Ensayo De Abrasión, Método Marshal, Ensayo Rice. Por lo antes descrito, en la tercera fase se realizará el análisis comparativo de los datos obtenidos de las diferentes mezclas asfálticas modificadas para determinar la calidad de estas.

Este proceso investigativo fue ejecutado mediante 3 fases metodológicas previamente determinadas, que permitió una ejecución ordenada de su análisis.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

Fase I

En el proceso investigativo, se trasladó a los sitios de muestreo previamente identificados en el cual se hace la georreferenciación respectiva. Mediante el uso de herramientas manuales como palas y recipientes se recolectaron muestras de asfalto reciclado y parte de los agregados pétreos correspondientes asegurando la integridad del material extraído para su posterior traslado al laboratorio donde se realizaron los ensayos de caracterización cada uno con su metodología establecida.

Fase II

Para la fase dos los materiales y equipos empleados para cada ensayo serán mencionados en base a las normativas: ASTM, INEN, MOP, NEVI y AASHTO.

Inicialmente uno de los primeros ensayos realizados es el de pesos unitarios para los agregados gruesos y finos, empleando un molde de volumen conocido, una varilla de acero de punta de semiesférica y una balanza digital (Marca OHAUS).

Consiguiente a esto se realizó el ensayo de granulometría, empleando una serie de tamices (Marca Controles) con diferentes graduaciones y un horno eléctrico a 110 °C (Marca BIOBASE – Modelo BOV – V230F). además de una balanza (Marca OHAUS).

A continuación, se procedió con el ensayo de abrasión, en el cual se emplea esferas de acero, y un tamiz de acero (Marca Humbolt) el cual nos ayudara a separar el material resultante de la Maquinas de los Ángeles (Marca Siemens Logo), la cual está conformada por un motor y un

cilindro giratorio, equipado con una placa metálica y una tapa angular en la tapa, ubicada de forma radial.

Consecuente a esto se realizó el ensayo de gravedad específica para los agregados gruesos y finos para el cual se emplearon bandejas, Balanza (Marca OHAUS). Un horno eléctrico a 110 °C (Marca BIOBASE – Modelo BOV – V230F). Un bote de inmersión en el cual se saturan las muestras de suelo, picnómetro (Marca Pyrex), recipientes, molde y pisón. Del mismo modo como para el ensayo de centrifugado fue necesario el empleo de la máquina de extracción de asfalto (Marca ETI).

Posteriormente en el ensayo mediante el método Marshall, se emplearon moldes Marshall con el cual se producirá las muestras, para aplicar la carga vertical se empleará un compactador Marshall el cual compactará la muestra, una prensa Marshal (Marca Roentgen) que nos dará datos sobre la estabilidad y el flujo, una balanza electrónica (Marca OHAUS)., una cocina de gas, un termómetro y baño María (Marca Forney – Modelo H – 1390).

A continuación, se realizó el ensayo Rice, en el cual se empleó una lámina de vidrio, el tamiz ¾ (Marca Humbolt), bandejas y la bomba de vacíos (Marca Roiggtec).

Fase III

Para la fase de procesamiento y análisis de datos, se empleó un computador portátil marca Acer con un procesador Intel Core i9, herramienta que permitió la gestión de manera eficiente del volumen de información generada durante los ensayos de laboratorio. Mediante este equipo se realizó el tratamiento estadístico, la comparación sistemática de los resultados y elaboración de tablas y gráficos que sustentaron el estudio consolidando un formato claro y estructurado que facilito la interpretación técnica del estudio.

II. MÉTODOS

La metodología adoptada en la presente investigación fue estructurada de acuerdo a cada fase de una manera secuencial y sistemática, que permita llevar un trabajo coherente ordenado en base a cada procedimiento ejecutado, asegurando la fiabilidad de los datos obtenidos a lo largo del proceso investigativo.

1) Fase I

En la primera empezamos por la identificación de los lugares en los cuales de obtendrá los materiales que serán empleados en cada uno de los ensayos a realizarse, para lo cual nos trasladamos al lugar para recolectar los agregados pétreos. Al realizar un análisis se determinó que existen distribuidores cercanos a nuestra ubicación, Mina Ambato-MTOP es una de las minas de las cuales se adquirió los agregados, ubicado en la provincia de Tungurahua, Canton Ambato, Parroquia Izamba, una vez adquirido se trasladó los materiales hasta los laboratorios para los posteriores procesos investigativos.



Fig. 1 Adquisición de materiales pétreos.

Posteriormente, se llevó a cabo la identificación de un tramo vial que se encontrará en proceso de intervención ya sea por mantenimiento o mejoramiento, con el fin de obtener materiales representativos para el estudio. Se determinó que en el cantón Cevallos específicamente en la Av. Pedro Fermín Cevallos se estaba realizando una intervención durante este periodo de análisis.



Fig. 2 Lugar de tomas de medidas y muestras de asfalto en la Av. Pedro Fermín Cevallos.

En consecuencia, se procedió al traslado hacia el lugar para realizar las actividades correspondientes, incluyendo la observación directa, la excavación de una calicata, toma de medidas y la recolección de materiales para el desarrollo de la investigación, asegurando así la información relevante y condiciones reales de campo.

El lugar se procedió a realizar una calicata en una zona previamente trabajada y levantada parte de la carpeta asfáltica, adecuado la zona para le medición se procede en tomar las medidas empleando un flexómetro, se determinó que la capa asfáltica tenía un espesor aproximadamente de 6 cm, mientras que la base un espesor aproximado de 10 cm y finalmente la subbase un espesor aproximadamente de 36 cm.



Fig. 3 Medición de la carpeta asfáltica en la excavación de la calicata.

Una vez realizada la medición se procedió a recolectar las muestras necesarias de materiales que nos servirá para realizar los ensayos requeridos para nuestro estudio de mezcla asfáltica reciclada modificada.



Fig. 4 Recolección de materiales para el análisis de laboratorio.

Adicionalmente, para la obtención del material fibroso se realizó una recolección de restos de caña de azúcar se realizó el Canton Baños de Agua Santa, específicamente en la zona en la que operan los trapiches locales. Se priorizó este material debido a que el bagazo resultante de molienda en el trapiche presenta una composición fibrosa, adecuada para la implementación en este análisis investigativo.

El material recolectado fue sometido a un proceso de eliminación de impurezas, el cual consistió en la trituración del bagazo mediante una licuadora, seguido de su colocación en un recipiente para realizar un total de 4 enjuagues, cada lavado de realizo con agua manteniendo una temperatura de 80 °C durante un tiempo de 20 min, utilizando agua limpia en cada ciclo, este procedimiento tubo como finalidad reducir el contenido de sacarosa, azucares y partículas de polvo presentes en el material que generen fermentaciones o debilidades que influyan en la resistencia de la fibra.

La fibra resultante se realiza un tratamiento que consiste en realizar una mezcla de agua y cal al 5%, mezclarlo hasta que se disuelva y colocar la fibra por un periodo de 48 horas, luego de transcurrido este tiempo se coloca la fibra en un recipiente con agua limpia por un periodo de 24 horas, luego de haber transcurrido este tiempo se lava bien la fibra con abundante agua.



Fig. 5 Tratamiento de la fibra de caña de azúcar.

Secado

la fibra pasa por un proceso secado a temperatura ambiente por 10 días hasta que alcance una masa constante, con el propósito de evitar que se produzcan vapores en la mezcla asfáltica que pueden generar vacíos o desprendimientos.

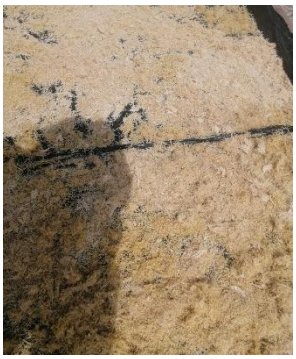


Fig. 6 Secado de fibra a temperatura ambiente.

2) Fase II

El desarrollo de esta investigación comprende la ejecución de diferentes ensayos (Análisis granulométrico, Abrasión, Método Marshal y Ensayo Rice) para determinar propiedades y características de los agregados que serán utilizados en la mezcla asfáltica reciclada con la fibra de caña, seguidamente se detallará la información sobre cada ensayo.

a) Ensayo de pesos unitarios o densidad en el campo

El ensayo de pesos unitarios se realiza con el propósito de determinar la densidad aparente de un material granular, ya sea en la condición seca o húmeda cómo es el caso de la grava o piedra triturada, arena. Este ensayo permite evaluar las características de compactación y distribución de las partículas del material granular, estos parámetros son fundamentales para su adecuada implementación en la mezcla asfáltica.



Fig. 7 Enrazado del material pétreo en el molde.

El procedimiento para la ejecución de este ensayo se llevó a cabo conforme a lo que establece la norma ASTM C 29/C29 M-97. Inicialmente se determinó el peso y el volumen del molde a emplear. Posteriormente se tomó una muestra representativa de los agregados correspondientes al tamaño 3/4", 3/8" y el agregado fino. El molde fue llenado suavemente con el material en estado seco de manera uniforme hasta alcanzar el punto de derrame y finalmente con la ayuda de la varilla para que el material quede a nivel del molde. De igual manera se realizó un proceso similar colocando el agregado en 3 capas al colocar cada capa se realizó 25 golpes con la varilla de acero de punta semiesférica, posteriormente se niveló arrastre el molde para finalmente ser pesado el molde y el agregado en la balanza, este proceso se realizó 3 veces consecutivas con cada agregado para determinar un mejor resultado.

Para el cálculo del peso unitario de los agregados 3/4", 3/8" y el agregado fino se usó la Ec.1:

$$Peso\ Unitario = \frac{W_{seco}}{V} \tag{1}$$

Donde:

W_{Seco}: Agregado

V: Volumen del molde

b) Ensayo granulométrico

El análisis granulométrico consiste en un método de caracterización, en el cual se distribuye por tamaños las partículas de los agregados finos y gruesos mediante un proceso de tamizado, este procedimiento es fundamental para evaluar la graduación del material y su adecuación en mezclas asfálticas, tal como se observa en la Fig. 8.



Fig. 8 Tamizado de los agregados.

El procedimiento con el cual se llevó a cabo conforme a lo establecido en las normas ASTM C 136 – INEN 696, Las muestras fueron sometidas a un secado con el fin de eliminar la humedad presente el garantizar resultados precisos en la determinación de la granulometría, se emplearon muestras representativas de los agregados 3/4”, 3/8” y el agregado fino pasante del tamiz #4.

Posteriormente se realizó el tamizado mediante tamices con diferentes graduaciones, con los cuales se obtuvo una adecuada distribución de tamaños de partículas del material analizado. La selección de los tamices se efectuó de acuerdo con lo especificado en la tabla I que se encuentra en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002, asegurando así la conformidad de este procedimiento con la normativa.

TABLA I
REQUISITOS ENSAYO GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA EN PLANTA

Tamaño del Tamiz		**Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada**			
Tamiz	**Tamiz (mm)**	**3/4"**	**1/2"**	**3/8"**	**N° 4**
1"	25.400	100	- -	- -	- -
3/4"	19.000	90 - 100	100	- -	- -
1/2"	12.700	- -	90 - 100	100	- -
3/"	9.500	56 - 80	- -	90 - 100	100
No. 4	4.750	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
No. 8	2.360	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
No. 16	1.180	- -	- -	- -	40 - 80
No. 30	0.600	- -	- -	- -	25 - 65
No. 50	0.300	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
No. 100	0.150	- -	- -	- -	3 - 20
No. 200	0.075	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002

Finalmente, a partir de los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (CC.), determinados mediante el análisis granulométrico, se realizó la clasificación del suelo siguiendo los criterios de identificación y asignación de símbolos de grupo, establecidos por las normativas AASHTO y SUCS. Conforme a lo indicado en la Tabla III.

Ecuaciones de cálculo de coeficiente de uniformidad y de curvatura Ec. 2 y Ec. 3:

- **Coeficiente de Uniformidad:**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{2}$$

- **Coeficiente de Curvatura:**

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} \tag{3}$$

Donde:

C_u: Coeficiente de Uniformidad.

C_c: Coeficiente de Curvatura.

D_{10}: Diámetro en el cual el 10% de partículas son más pequeñas.

D_{30}: Diámetro en el cual el 30% de partículas son más pequeñas.

D_{60}: Diámetro en el cual el 60% de partículas son más pequeñas.

TABLA II
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (BASADO EN EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ NÚM. 75)

CRITERIO PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO			
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz N°200	Gravas Más de 50% de fracción retenida en el tamiz N°4	$C_u \geq 4\ y\ 1 \leq C_c \leq 3$	GW
		$C_u \geq 4\ y/o\ 1 > C_c > 3$	GP
	Arenas 50% o más de fracción gruesa pasa el tamiz N°4	$C_u \geq 6\ y\ 1 \leq C_c \leq 3$	SW
		$C_u \geq 6\ y/o\ 1 > C_c > 3$	SP

Fuente: Norma AASHTO y SUCS

c) Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión - máquina de los ángeles

El ensayo de abrasión se realizó con el propósito de evaluar la resistencia desgaste de los agregados pétreos, utilizando la máquina de los Ángeles. Pare este análisis se consideró agregados correspondientes a los tamaños 3/4” y 3/8”, como se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9 Ensayo en la máquina de los ángeles.

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C 131-01, la cual establece el procedimiento para evaluar los agregados gruesos con tamaños nominales inferiores a 37.5 mm (1 1/2”). Los parámetros de clasificación correspondientes se muestran en la Tabla III.**¡Error! Vínculo no válido.**

Fuente: Norma ASTM C 131 – 01

Inicialmente se llevó a cabo el método B, para el cual se preparó una muestra compuesta por 2500 gr de material retenido en el tamiz 1/2” y 2500 gr retenidos en el tamiz 3/8”, al combinándolos se obtuvo una muestra de 5000 gr, esta muestra se coloca juntamente con 11 esferas de acero en el cilindro rotatorio de la máquina de los ángeles. Mientras que para el método C se empleó muestras de 2500 gr material retenido en el tamiz 1/8” y 2500 gr de material retenido en el tamiz 1/4”, de igual manera se combinaron formando una muestra de 5000 gr y se colocó juntamente a 8 esferas metálicas en la máquina de los ángeles.

La máquina opera por un tiempo aproximado de 15 min dando un total de 500 revoluciones, en el cual las esferas generan golpes y acciones abrasivas entre el material granular, simulando las condiciones de desgaste que experimentan los agregados al servicio, posteriormente el material resultante fue tamizado por el tamiz N° 12, luego lavado para eliminar las partículas pequeñas adheridas y finalmente colocado al horno por 24 horas para obtener el peso final del material granular ensayado, con este dato determinamos el desgaste generado en la muestra.

Finalmente, para el cálculo del desgaste del material ben el ensayo de abrasión mediante la máquina de los ángeles, se determinó con la Ecuación. (4):

$$Porcentaje\ de\ desgaste = \left(\frac{A - B}{A}\right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

A: Peso inicial (material lavado y secado al horno)

B: Peso final (material retenido en el tamiz N° 12, lavado y secado al horno)

d) Ensayo de gravedad específica

El ensayo de gravedad especifica tiene como finalidad evaluar las propiedades relevantes tales como la relación del peso del agregado y el peso de un volumen igual de agua, contribuyéndose en un parámetro fundamental para la caracterización física de los agregados, como se observa en la Fig. 10.



Fig. 10 Ensayo de gravedad especifica

El desarrollo de este ensayo Se fundamentó en las normas INEN 856 e INEN 857. Inicialmente se procedió con la selección de los agregados correspondientes a las medidas 3/4",3/8” y el agregado fino.

Para el caso del agregado fino la muestra fue inicialmente sumergida durante un tiempo correspondiente a 24 horas, con el objetivo de asegurar la saturación de los poros de la muestra. Posteriormente se realizó el secado a temperatura ambiente hasta alcanzar la condición conocida como saturación superficial seca, alcanzar este estado, la muestra fue retirada y sometida al ensayo mediante el uso del molde y pistón.

A continuación, se pesó el picnómetro vacío y si incorporaron 250 g de agregado fino seco, el picnómetro fue cenado parcialmente con agua y se introdujo la muestra. Realizando movimientos de agitación, inversión y rotación manualmente con el fin de eliminar las burbujas de aire atrapadas en la muestra. Posteriormente se registró el peso del sistema, se ajustó el nivel

del agua eliminando el exceso y se realizó una nueva medición. Finalmente, el agregado fue extraído, secado a temperatura ambiente durante 2 horas de aproximadamente

y luego se llevaba al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C Por un periodo de 24 horas, una vez que se enfrió la muestra se determinó el peso seco final.

En relación con el ensayo de los agregados gruesos, las muestras 3/4" y 3/8" Fueron colocadas en canastillas de manera independiente y sumergidas durante 24 horas. Posteriormente, se determinó el peso del agregado saturado superficialmente seco, considerando el peso del recipiente y la canastilla. Luego el agregado fue pesado en condición sumergida para obtener el peso aparente del agua finalmente las muestras fueron secadas al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C una vez que se enfrió la muestra se determinó el peso seco final.

Finalmente, los valores obtenidos permitieron calcular el porcentaje de absorción y la gravedad específica de los agregados gruesos mediante el uso de las ecuaciones establecidas Ec.5, Ec.6, Ec.7 y Ec.8

- **Peso Específico SSS:**

$$D = \frac{A}{B - C} \tag{5}$$

- **Peso Específico Nominal:**

$$D = \frac{B}{A - C} \tag{6}$$

- **Peso Específico Aparente Superficie Seca:**

$$D = \frac{B}{B - C} \tag{7}$$

- **Porcentaje de Absorción:**

$$Porcentaje\ de\ absorción = \frac{B - A}{A} * 100 \tag{8}$$

Se realizó el cálculo del porcentaje de absorción en el ensayo de gravedad específica para los agregados finos utilizando las ecuaciones Ec. (9,10,11 y 12):

- **Peso Específico Aparente**

$$D = \frac{A}{B + S - C} \tag{9}$$

- **Peso Específico Nominal**

$$D = \frac{A}{B + A - C} \tag{10}$$

- **Peso Específico Aparente Superficie Seca**

$$D = \frac{S}{B + S - C} \tag{11}$$

- **Porcentaje de Absorción**

$$Porcentaje\ de\ Absorción = \frac{S - A}{A} * 100 \tag{12}$$

Donde:

S: Peso del agregado en condición saturada y superficie seca.

A: Peso del agregado seco en horno determinado en aire.

B: Peso del agregado en el aire condición saturada y superficie seca.

C: Peso del agregado en agua en condición saturada medido.

e) Ensayo de extracción cuantitativa de asfalto aplicando material reciclado

Este ensayo es conocido también como ensayo de centrifugado el cual constituye una técnica para determinar la granulometría de los agregados cómo el contenido del asfalto presente en la muestra asfáltica mediante la separación de los materiales pétreos a través de un litigante y la acción centrifugadora de la máquina.



Fig. 11 Ensayo de centrifugación del pavimento asfaltico reciclado

La ejecución de este ensayo se desarrolló conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM D2172. Inicialmente se seleccionó una muestra representativa de asfalto reciclado, la cual fue sometida a un calentamiento en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar una condición trabajable. posteriormente la muestra fue pesada y colocada en la olla de la centrífuga, de manera complementaria se 6 el peso del filtro.

Posteriormente una vez colocada la muestra en la olla se adicionaron 500 ml de solvente (gasolina súper), además de mezclarla cuidadosamente empleando la espátula redonda, a continuación, se procede a colocar el filtro, la tapa y asegurarla correctamente, para una mejor disgregación con el solvente se dejó reposar la muestra durante una hora.

La etapa del centrifugado se repitió por siete ocasiones asegurándose de que haya una separación adecuada entre el asfalto y el agregado, en cada ciclo de lavado se retiró y se limpió el filtro con la espátula para recuperar el material adherido, y se colocó una el solvente usando un volumen un total de 3500 ml.

Posteriormente el material resultante fue secado en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C en un periodo de 24 horas, y se tomó el dato del peso del agregado y el filtro para determinar su peso final.

De manera complementaria, se registró el peso inicial de un recipiente en el cual se depositaron 100 ml de la alícuota extraída, previamente medidos en una probeta graduada, muestra que fue llevada al horno para inducir en la evaporación del solvente, para asegurar la evaporación el recipiente fue expuesto a temperaturas de entre 500 °C y 600 °C. finalmente se tomó el peso del recipiente con el residuo evaporado, dato clave que nos permitirá determinar la diferencia de masas y el porcentaje del asfalto inmerso en la mezcla asfáltica reciclada.

f) Ensayo Marshall

El método Marshall es un procedimiento técnico realizado en el laboratorio, ideal para diseñar mezclas de asfálticas y verificar su calidad antes de ser empleados en obra. Mediante este método se puede determinar el contenido óptimo de betún asfáltico que debe incorporarse en una combinación con áridos, para obtener un equilibrio ideal entre la resistencia deformidad y durabilidad de la mezcla, para ello se fabrican briquetas con diferentes porcentajes de ligante, las cuales posteriormente son sometidas a ensayos de carga para evaluar su comportamiento mecánico, ilustrado en la Fig. 12.



Fig. 12 Elaboración de briquetas - Ensayo Marshall

La elaboración experimental de las briquetas se sustentó en base a las normas a ASTM D 1559 y AASHTO T 225, las cuales Establecen que el contenido de betún debe variar de manera progresiva en incrementos de 0.5% entre cada grupo de especímenes.

El proceso inició con el pesaje de los agregados pétreos ¾", 3/8", arena, los cuales fueron lavados y secados en el horno por 18 a 24 horas para eliminar la humedad. Continuamos con el pesaje del betún y en el caso del pavimento asfaltico modificado también el pesaje de la fibra de caña de azúcar. Paralelamente, los moldes, collares y placas base también requirieron de calentamiento a una temperatura de 140 a 150 °C evitando el enfriamiento prematuro de la mezcla durante el proceso de elaboración de la briqueta.

En la fabricación de briquetas tradicionales, los agregados fueron dosificados y agregados a la mezcla asfáltica conjuntamente del betún en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%, luego calentados a una temperatura de 140 a 150 °C, completando una cantidad de 1200 g requeridos para la elaboración de cada briqueta, conforme a la normativa se fabricaron tres briquetas por cada porcentaje de betún incorporado.

Una vez incorporado los agregados se realiza la mezcla hasta lograr que las partículas sean cubiertas de manera homogénea, al alcanzar la temperatura ideal se coloca la muestra en el interior de los moldes y se realiza 25 pinchazos (15 pinchazos al alrededor y 10 pinchazos al azar) con la espátula redonda con el fin de minimizar los vacíos internos, este proceso se realizó en 3 capas y en cada capa se aplicaron 75 golpes con el martillo de compactación. Previo a la extracción se dejó enfriar por 2 horas, se colocó en la máquina de extracción de muestras y se enumeró las briquetas con tiza.

Finalmente se realizó el mismo proceso para elaborar las briquetas modificadas incorporando fibra de caña de azúcar al 0.3% 0.35% y 0.40% y Asfalto reciclado al 10%, 20% y 30% conjuntamente del cemento asfaltico AC-20 en los mismos porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5% tal como se ilustra en la Fig. 13.



Fig. 13 Briquetas elaboradas con distintas dosificaciones

Previo al ensayo en la máquina Marshall, se realizó el acondicionamiento térmico a baño maría, primero se calienta el agua a una temperatura de 60 °C, y se sumerge cada briqueta por un tiempo de 30 min periodo durante el cual el calor se distribuye de manera uniforme en todo el material asfaltico. Este acondicionamiento térmico es fundamental, ya que esta temperatura influye directamente en la viscosidad del ligante, por lo tanto, una vez cumplido el tiempo establecido se coloca rápidamente en la maquina Marshall en la cual obtuvimos los valores de flujo y estabilidad de cada espécimen, como se observa en la Fig. 14.



Fig. 14 Ensayo en la máquina de ensayo Marshall

Con los resultados experimentales obtenidos de cada briqueta ensayada en la maquina Marshall Se realizó una comparación detallada de los valores de flujo estabilidad densidad y

porcentaje de vacíos frente a los criterios de diseño para mezclas asfálticas Marshall consignados en la Tabla IV.

TABLA III
CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS MARSHALL

Ensayo de acuerdo con el Método Marshall	**Tráfico Ligero**		**Tráfico medio**		**Tráfico Pesado**		**Tráfico muy Pesado**	
Criterios Marshall	**Min.**	**Máx.**	**Min.**	**Máx.**	**Min.**	**Máx.**	**Min.**	**Máx.**
Número de golpes / Cara	50		50		50		50	
Estabilidad (libras)	1000		1200		1800		2200	
Flujo o deformación en centésimas de pulgada (pulgada/100)	8	16	8	16	8	14	8	14
Índice de vacíos con aire en la capa de rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75	65	75
Relación Filler / Betún	---	---	---	---	0.8	1.2	0.8	1.2

Fuente: Especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002

Para la determinación de los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica, se aplicaron las ecuaciones comprendidas entre la Ec.13 a la Ec.22.

- **Peso específico (Bulk):**

$$Peso\ específico\ Bulk = \frac{D}{E - F} \tag{13}$$

Donde:

D: Peso en gramos briqueta seca al aire

E: Peso en gramos briqueta S.S.S. al aire

F: Peso en gramos briqueta sumergida

- **Peso específico máximo teórico:**

$$Peso\ específico\ máximo\ teórico = \frac{100}{\frac{\%\ agregado}{G_{Agregado}} + \frac{\%\ C.A.}{G_{Agregado}}} \tag{14}$$

Donde:

C.A.: Cemento Asfaltico

- **Porcentaje de asfalto absorbido:**

$$Porcentaje\ de\ asfalto\ absorbido = \frac{(I - h) * 10^4}{I * H * \%\ Agregado} \quad (15)$$

Donde:

I: Peso específico máximo medido Rice

H: Peso específico máximo teórico

- **Porcentaje volumétrico total agregado**

$$Porcentaje\ de\ agregado = \frac{\%Agregado}{G_{Agregado}} \quad (16)$$

Donde:

G: Peso específico Bulk

- **Porcentaje volumétrico total vacíos con aire:**

$$Va = \left(1 + \frac{G}{I}\right) * 100 \quad (17)$$

Donde:

G: Peso específico Bulk

I: Peso específico máximo medido Rice

- **Porcentaje volumétrico total asfalto efectivo:**

$$Porcentaje\ de\ asfalto\ efectivo = 100 - K - L \quad (18)$$

Donde:

K: Volumen porcentaje total agregado

L: Volumen porcentaje total de vacíos

- **Porcentaje de vacíos en agregados minerales:**

$$VMA = 100 - K \quad (19)$$

- **Porcentaje de asfalto efectivo:**

$$Porcentaje\ de\ asfalto\ efectivo = \%C.A. - \frac{J * \%\ Agregado}{100} \quad (20)$$

Donde:

J: Porcentaje absorbido de asfalto

- **Porcentaje de vacíos llenos de asfalto:**

$$VFA = \frac{N - L}{N} * 100 \quad (21)$$

Donde:

N: Vacíos en agregados minerales

L: Volumen del porcentaje total de vacíos

- **Corrección de Estabilidad:**

$$Estabilidad = Q * R \quad (22)$$

Donde:

Q: Lectura

R: Factor de corrección

g) Ensayo Rice

El ensayo Rice, proporciona valores de gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica, parámetro fundamental con el cual determinamos el porcentaje de vacíos totales en la mezcla asfáltica además del grado de compactación durante la colocación del asfalto. Como se aprecia en la Fig. 15.



Fig. 15 Ensayo en la máquina de ensayo Marshall

Para llevar a cabo el ensayo raíz conforme a la norma ASTM D 2041, se empezó por colocar las briquetas elaborada sobre la bandeja metálica y colocarlas en el horno durante el tiempo necesario para su acondicionamiento. Seguidamente retiramos los especímenes y dejamos enfriar a temperatura ambiente, condición necesaria para estabilizar el material y garantizar la confiabilidad de las mediciones posteriores.

Realizamos el registro del peso inicial del frasco volumétrico y la lámina de vidrio, procedemos con el llenado completo con agua a temperatura de 25 °C y el enlace cuidadoso con la lámina de vidrio evitando la formación de burbujas de aire, dato muy importante para asegurar con exactitud el volumen de referencia, a continuación, incorporamos la mezcla asfáltica a temperatura ambiente para completar la preparación del sistema inicial de la medición.

Por un periodo de 15 minutos se realiza el ensayo mediante la máquina de vibración y la bomba de vacío las cuales trabajan conjuntamente para eliminar cualquier burbuja residual dentro del material, una vez transcurrido el tiempo se realiza el pesaje correspondiente.

Con los valores registrados se procede al cálculo del peso específico máximo mediante el método Rice determinado por la Ec. 23:

$$GMM = \frac{A}{A + D - E} \tag{23}$$

Donde:

$\boldsymbol{GMM}$: Peso específico máximo medido

$\boldsymbol{A}$: Peso de la muestra

$\boldsymbol{D}$: Peso del molde + agua

E: Peso del molde + muestra + agua

3) Fase III

En esta fase se llevó a cabo un análisis comparativo de los parámetros obtenidos entre las mezclas asfálticas modificadas y las mezclas asfálticas tradicionales, con el fin de determinar el comportamiento mecánico de las briquetas con las modificaciones incorporadas. La aplicación de los métodos de investigación comparativos permitió evaluar de forma sistemática y objetiva las variables obtenidas en el ensayo Marshall permitiendo identificar diferencias y similitudes en el comportamiento volumétrico y mecánico de cada dosificación realizaba. Este enfoque metodológico permitió determinar cuál de las combinaciones de materiales modificados ya sea con fibra de caña de azúcar y asfalto reciclado, Represente una alternativa efectiva en términos de resistencia durabilidad y sostenibilidad frente a una mezcla asfáltica tradicional aportando con evidencia cuantitativa para la toma de decisiones técnicas en el diseño de pavimentos asfálticos.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados de alcanzados durante el desarrollo de la investigación, organizados de forma cronológica dando un conforme a las fases desarrolladas, esta disposición secuencial facilita la trazabilidad de los procesos investigativos y la comprensión progresiva de los hallazgos, construyendo

1) Fase I

En esta etapa se consideró materiales tales como los agregados pétreos, la fibra de caña de azúcar y el pavimento asfaltico reciclado detallado en la Tabla V.

TABLA IV
UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Ubicación Del Sitio De Extracción		
Material	Ubicación	Coordenadas
Agregados pétreos	Mina Ambato-MTOP – Parroquia: Izamba -Canton: Ambato Provincia de Tungurahua	N: 769088 S: 9862279 Altura: 2337 msnm.



Fig. 16 Adquisición de materiales pétreos.

Interpretación: En la Tabla V y en la Fig. 16, se aprecia los datos de ubicación del lugar exacto de extracción de materiales pétreos usados para esta investigación al cual nos dirigirnos, el lugar está ubicado cerca de la vía Troncal de la Sierra – E 35 sentido sur-norte, en la parroquia Izamba, cantón de Ambato, provincia de Tungurahua.

TABLA V
UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO

Ubicación del sitio de extracción		
Material	Ubicación	Coordenadas
Pavimento asfaltico reciclado	Av. Pedro Fermín Cevallos, Canton: Cevallos, Provincia de Tungurahua	N: 765760 S: 9851234 Altura: 2862 msnm



Fig. 17 Extracción del pavimento asfaltico reciclado.

Interpretación: Mediante las coordenadas UTM tenemos la localización exacta del lugar de extracción de muestras de asfalto reciclado, lugar que se encontraba en proceso de

instalación de tuberías de agua potable ubicado en la Av. Pedro Fermín Cevallos en el Canton Cevallos de la Provincia de Tungurahua, de igual manera la Caña de azúcar se obtuvo del Cantón Baños de Agua Santa de los locales de Trapiches.

2) Fase II

La presente fase comprendió la ejecución de los ensayos de laboratorio necesarios para el diseño de la mezcla asfáltica, para la cual fue necesario comprender las características propiedades y comportamientos de los materiales pétreos, de igual manera se analizó las características del pavimento asfáltico reciclado.

La caracterización de los agregados y la elaboración de las fibras son ensayos fundamentales que permitirán garantizar los materiales empleados los cuales deben cumplir los estándares normativos vigentes, estándares que determinen que los materiales sean aptos para ser incorporados en las dosificaciones de la elaboración de briquetas asfálticas modificadas, mediante los resultados obtenidos se puede obtener evidencia cuantitativa necesaria para determinar la viabilidad técnica de los materiales alternativos y su contribución al mejoramiento de las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico.

En las secciones siguientes se expone el análisis de los resultados generados a lo largo del desarrollo experimental de la investigación.

a) Resultados del ensayo de pesos unitarios de los agregados gruesos y finos

TABLA VI
Resultados del ensayo de pesos unitarios de los agregados gruesos y finos

Ensayo Pesos Unitarios	
Agregados	**Peso Unitario Promedio gr/cm^3**
Pasan el tamiz 3/4	1.329
Pasan el tamiz 3/8	1.239
Pasan el tamiz #4	1.386

Para una revisión detallada los resultados obtenidos durante la ejecución de este ensayo, incluido los datos registrados y los cálculos correspondientes de encuentran documentados y se pueden consultar en el Anexo 1.

El cálculo del peso unitario de los agregados se llevó a cabo mediante la aplicación de la Ec.1.

Interpretación: Con el propósito de caracterizar los agregados pétreos se empleó materiales en estado seco, siendo un parámetro físico fundamental que permite determinar que los

agregados empleados cumplan con los estándares requeridos, mediante la obtención de su masa y volumen requeridos para su respectivo control. [19]

b) Resultado del Ensayo Granulométrico: Agregado Grueso, Fino y Pavimento Asfaltico Reciclado

Concluido la ejecución de este ensayo los datos obtenidos reflejan las características del peso unitario de las mezclas estudiadas los cuales se presentan en la siguiente tabla:

TABLA VII
RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA "Mina Ambato-MTOP" (RAP)

Ensayo Granulométrico			
Coeficiente	Materiales		
	Carpeta Asfáltica	RAP	Agregado Fino
D10 mm	0.08	0.15	0.15
D30 mm	0.90	0.42	0.42
D60 mm	5.20	1.10	1.10
Cu	63.41	7.33	7.33
Cc	1.90	1.07	1.07
Módulo de Finura	---	---	
Símbolo del grupo	GW	GW	SW

El resultado del coeficiente de uniformidad se obtuvo conforme a las fórmulas utilizadas detallada en la Ec. 2., y el coeficiente de curvatura con la Ec. 3.

Interpretación: En base a la normativa MOP-001-F 2002, en la Fig. 18 se presenta las granulometrías correspondientes, cuya graduación se encuentra detallada en la Tabla I, así como los criterios de aplicación para la carpeta asfáltica. [20]

En la Fig. 18 se aprecia la distribución granulométrica correspondiente al asfalto reciclado, evidenciando la graduación de los materiales pétreos que conforman la carpeta asfáltica reciclada.

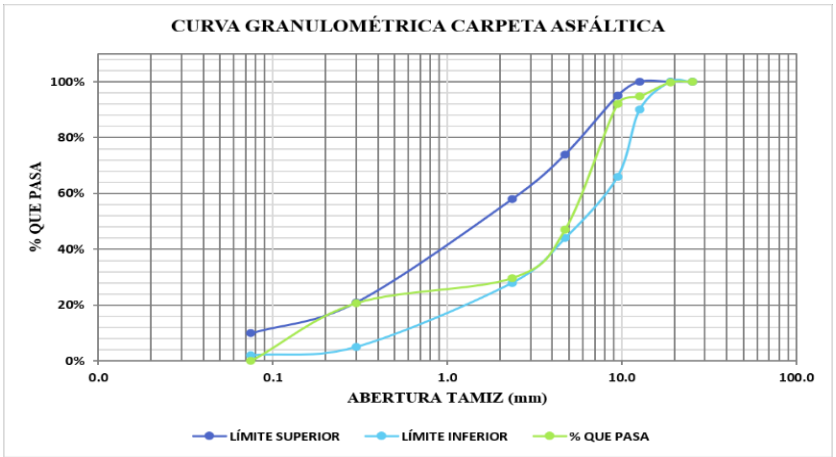


Fig. 18 Curva granulométrica de los agregados pétreos

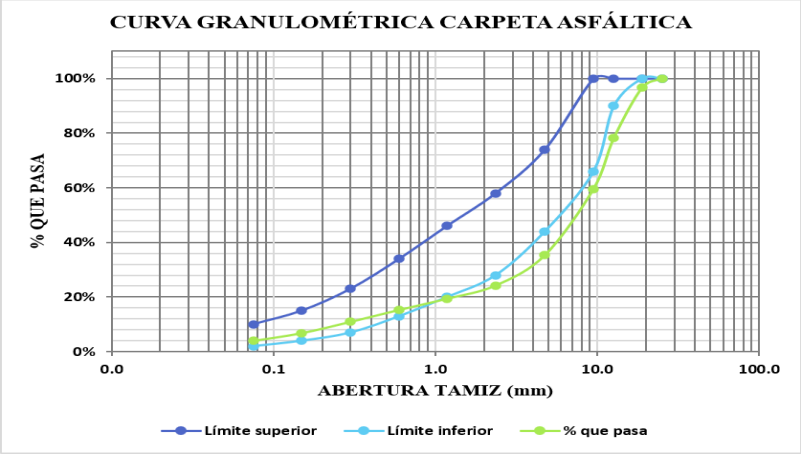


Fig. 19 Curva granulométrica del RAP

Mediante la aplicación de las clasificaciones detalladas en las normas SUCS y AASHTO, se detalla los resultados obtenidos de la granulometría de los agregados finos obteniendo coeficientes de Cu=7.33 y Cc=1.07 que satisfacen las condiciones Cu ≥ 6 y 1 ≤Cc ≤3, clasificando el material como arena limpia bien graduada (SW). Adicionalmente, el módulo de finura obtenido es de 3.4 el cual cumple con rango normativo de 2.1 ≤ MF ≤ 3.1 establecido por la norma INEN 696. [21]

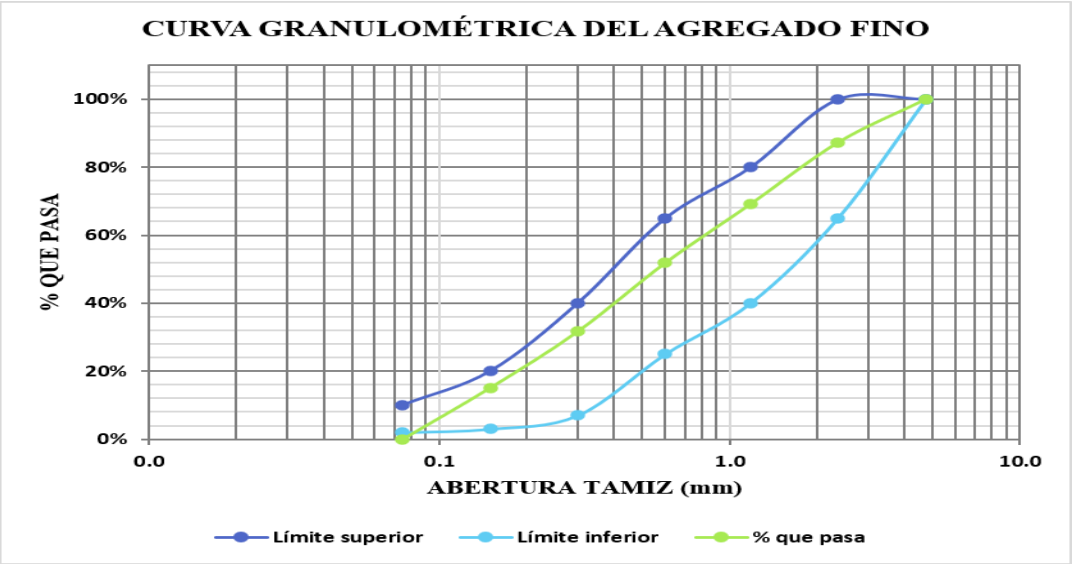


Fig. 20 Curva Granulométrica - Agregado Fino

c) Resultado del Ensayo Contenido de Humedad: Agregado Fino:

En el siguiente ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA VIII
RESULTADOS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO		
Descripción	Peso	Unidad
Contenido de humedad	4.14	%

Para una revisión detallada los resultados obtenidos durante la ejecución de este ensayo, incluido los datos registrados y los cálculos correspondientes de encuentran documentados y se pueden consultar en el Anexo 5. [22]

Interpretación: En la Tabla del ensayo de contenido de humedad ejecutado bajo la norma ASTMD 2974, se determinó un valor de 4.14%. Este valor es de especial relevancia en el desarrollo del diseño de la mezcla, ya que con él se realiza la corrección por humedad en los datos granulométricos, paso indispensable para garantizar que los porcentajes de agregados definidos en la fórmula maestra refleje con exactitud la composición real del material en estado seco y asegurar la validez de la dosificación calculada.

d) Resultado del Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión – Máquina de lo Ángeles: Agregado Grueso e Intermedio.

En el siguiente ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

ENSAYO DE ABRASIÓN

TABLA IX
RESULTADOS RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión		
Agregados	**Método**	**Desgaste del agregado (%)**
Grueso	A	21.80
Intermedio	B	27.43
Desgaste Promedio		24.61

Para una revisión detallada los resultados obtenidos durante la ejecución de este ensayo, incluido los datos registrados y los cálculos correspondientes de encuentran documentados y se pueden consultar en el Anexo 7. [23]

Interpretación: En la Tabla del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión presenta los resultados del ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles. En el cual se generó un desgaste de 21.80% en los agregados gruesos mediante el método A y un 27.43 % en los agregados intermedios mediante la aplicación del método B. Conforme a los límites establecidos en la norma INEN 860, el valor máximo permisible de desgaste por abrasión para agregados destinados a su implementación en las carpetas asfálticas no debe superar el 40%. Con un desgaste promedio de 24.61% entre los dos agregados demostrando tener una resistencia al desgaste notable superior a la mínima requerida, garantizando un desempeño adecuado al ser incorporado en el pavimento asfaltico. [24]

e) Resultado del Ensayo Gravedad específica: Agregado Grueso y Fino:

TABLA X
RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO		
Agregado	Peso específico Aparente (g/cm^3)	Porcentaje de absorción (%)
Grueso	2.59	2.37
Intermedio	2.37	2.28
Fino	2.21	1.67
Gravedad específica promedio	2.39 (g/cm3)	

La información completa correspondiente a este ensayo, que incluye los registros obtenidos y los procedimientos de cálculo aplicados, ha sido compilada en el Anexo 8.

El peso específico aparente y el porcentaje de absorción fueron determinados aplicando las ecuaciones Ec.5 a la Ec.8 para los agregados grueso e intermedio y las Ec.9 a la Ec.12 para el agregado fino. En los pesos específicos de parientes de los agregados grueso intermedio y fino fueron 2.59, 2.37 y 2.21 g/cm^3 respectivamente. Además, en promedio se obtuvo una gravedad específica de 2.39 g/cm^3. Dado que la norma MOP-001-F 2002 No establece parámetros

específicos los valores obtenidos se consideran válidos para el diseño de la mezcla asfáltica. [25]

f) Resultado del Ensayo contenido de humedad de la fibra de caña de azúcar

TABLA XI
RESULTADO DEL ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR		
Descripción	Peso	Unidad
Contenido de humedad	1.95	%

Para una revisión detallada los resultados obtenidos durante la ejecución de este ensayo, incluido los datos registrados y los cálculos correspondientes de encuentran documentados y se pueden consultar en el Anexo 6.

Interpretación: Los resultados expuestos en la tabla XII indican que la fibra de caña de azúcar analizada presentó un contenido de humedad de 1.95%, valor determinado mediante el procedimiento establecido por la norma ASTM de 2974. Previo a la realización del ensayo la fibra fue debidamente tratada y secada de manera natural, debido a su naturaleza el material conserva una humedad residual considerable es decir tiene una capacidad de retener agua del ambiente.

g) Resultados Ensayo Centrifugado: Pavimento asfáltico reciclado (RAP):

TABLA XII
RESULTADOS PORCENTAJE DE ASFALTO DEL RAP

CONTENIDO DE ASFALTO EN PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO		
Descripción	Peso	Unidad
Peso de la muestra	1000.00	g
Contenido de asfalto	3.10	%

Para una revisión detallada los resultados obtenidos durante la ejecución de este ensayo, incluido los datos registrados y los cálculos correspondientes de encuentran documentados y se pueden consultar en el Anexo 9. [26]

Interpretación: Los resultados de la tabla XIII indica que el pavimento asfáltico reciclado analizado presentó un contenido asfáltico de 3.1%, dato obtenido a partir de una muestra asfáltica representativa de 1000 g, porcentaje que está en un rango inferior esperado de lo que sugiere que el material ha sido sometido a un proceso de envejecimiento considerable o proviene de una mezcla originalmente diseñada con un contenido bajo de ligante asfaltico

h) Datos recopilados sobre la implementación de fibra de caña de azúcar en el pavimento asfáltico reciclado (RAP) en mezclas asfálticas:

TABLA XIII
DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR		
Contenido de fibra natural	Unidad	Fuente
>0	%	[27]
Ideal usar entre 0.2 y 0.4	%	[27]
<1	%	[27]

TABLA XIV
DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RAP EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

DATOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RAP EN LA MEZCLA ASFÁLTICA		
Contenido de RAP	Unidad	Fuente
>0	%	[27]
Ideal usar entre 0.2 y 0.4	%	[27]
<1	%	[27]

Interpretación: Los resultados de las tablas XIV y XV mediante una investigación se implementó el uso de fibras de origen natural en la mezcla modificada con pavimento asfáltico reciclado, la necesidad de la investigación de estos dos materiales fue con el fin de determinar un porcentaje que cumpla con ciertos parámetros para lograr ser incorporado en la mezcla asfáltica desarrollada aportando una base sólida y justificada en esta investigación.

i) Fórmula Maestra para la Mezcla asfáltica Tradicional:

Con los resultados de los ensayos de caracterización de materiales debidamente analizados y validados frente a las especificaciones técnicas se realizó la elaboración de la fórmula maestra asfáltica tradicional. Mediante este procedimiento se establecieron los porcentajes de participación de cada agregado y porcentaje de cemento asfáltico AC-20 Necesario para la elaboración de briquetas Marshall. [28]

TABLA XV
FÓRMULA MAESTRA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Fórmula Maestra de la Mezcla asfáltica Tradicional				
Materiales	**AC - 20**	**AC - 20**	**AC - 20**	**Unidad**
Porcentaje de asfalto	5.5	6.0	6.5	%
Peso Asfaltico	275	300	325	g
Agregado 3/4"	515.9	513.2	510.5	g
Agregado 3/8"	1900.9	1890.8	1880.7	g
Arena	2308.2	2296.0	2283.8	g
Total	5000	5000	5000	g

Interpretación: Los resultados de la tabla XVI se detalla la cantidad de cemento asfáltico de tipo AC – 20 que se incorporará en cada mezcla asfáltica con porcentajes de 5.5%, 6.5% y

7.5%, y su peso en gramos, además del peso de cada agregado 3/4", 3/8" y arena. Cada uno se ajusta en los rangos de diseños de carpetas 2 fanáticas proporcionados en la base técnica necesaria para la fabricación de briquetas Marshall.

j) Resultados Ensayo Rice - Mezcla asfáltica Tradicional:

Para el ensayo Rice de la mezcla asfáltica tradicional se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA XVI
RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.17
6.00%	2.35
6.50%	2.34

De manera detallada los resultados de este ensayo se encuentran en el Anexo 10.

Interpretación: Los resultados obtenidos en este análisis, se encuentran dentro del rango admisible establecido por los lineamientos de la norma ASTM D 2041, valores de peso específico máximo teórico que debe estar entre 2.3 y 2.5. Mediante los valores reportados se confirma la densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica, calculada en condición ideal sin considerar la presencia de vacíos de aire, estos resultados evidencian la adecuada proporción entre el cemento asfáltico y agregados pétreos, garantizando la confortabilidad, durabilidad y desempeño de la mezcla asfáltica.

k) Resultados Ensayo Rice - Mezcla asfáltica modificada con 0.20% de fibra de caña de azúcar y 10.00% RAP:

Para el ensayo Rice de la mezcla asfáltica se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA XVII
RESULTADOS ENSAYO RICE - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 10%, FIBRA 0.2%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.33
6.00%	2.30
6.50%	2.30

De manera detallada los resultados de este ensayo se encuentran en el Anexo 12.

Interpretación: Los resultados obtenidos en este análisis, se encuentran. Los resultados obtenidos en este análisis se encuentran dentro del rango admisible establecido por los lineamientos de la norma ASTM D2041, valores de peso específico máximo teórico que debe

estar entre 2.3 y 2.5. Mediante los valores reportados se confirma la densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica, calculada en condición ideal sin considerar la presencia de vacíos de aire, Según los resultados obtenidos un porcentaje de 5.5 % de cemento asfaltico AC-20 se acerca mucho al peso específico requerido sin embargo no cumple, de igual manera con un porcentaje de 6.5 % de cemento asfaltico AC-20 no cumple el peso específico.

l) Resultados Ensayo Rice - Mezcla asfáltica modificada con 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00% RAP:

TABLA XVIII
RESULTADOS ENSAYO RICE - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 20%, FIBRA 0.3%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.31
6.00%	2.29
6.50%	2.30

De manera detallada los resultados de este ensayo se encuentran en el Anexo 12.

Interpretación: Los resultados obtenidos en este análisis, se encuentran. Los resultados obtenidos en este análisis se encuentran dentro del rango admisible establecido por los lineamientos de la norma ASTM D 2041, valores de peso específico máximo teórico que debe estar entre 2.3 y 2.5. Mediante los valores reportados se confirma la densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica, calculada en condición ideal sin considerar la presencia de vacíos de aire, Según los resultados obtenidos en los porcentajes de 6.0 % y 6.5 % de cemento asfaltico AC-20 los valores no están dentro del rango requerido.

m) Resultados Ensayo Rice- Mezcla asfáltica modificada con 0.40% de fibra de caña de azúcar y 20.00% RAP:

TABLA XIX
RESULTADOS ENSAYO RICE- MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 30%, FIBRA 0.4%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.23
6.00%	2.27
6.50%	2.40

Interpretación: Los resultados obtenidos en este análisis, se encuentran. Los resultados obtenidos en este análisis se encuentran dentro del rango admisible establecido por los lineamientos de la norma ASTM D 2041, valores de peso específico máximo teórico que debe estar entre 2.3 y 2.5. Mediante los valores reportados se confirma la densidad teórica máxima

de la mezcla asfáltica, calculada en condición ideal sin considerar la presencia de vacíos de aire, Según los resultados obtenidos en los porcentajes de 5.5 % y 6.0 % de cemento asfaltico AC-20 los valores no cumplen con los parámetros establecidos. [29]

n) Resultados de las propiedades: Mezcla Asfáltica Tradicional, Criterios Marshall:

TABLA XX
RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Resultado de las propiedades mezcla asfáltica tradicional			
Criterios Marshall	5.5% AC - 20	6.0% AC - 20	6.5% AC - 20
Número de golpes en cada cara de la probeta	75	75	75
Peso específico Bulk (g/cm^3)	2.07	2.28	2.27
Índice de vacíos con aire	4.45	2.85	2.85
Vacíos en agregados minerales (%)	16.59	8.61	9.48
Estabilidad en libras (lb)	4820.47	3272.89	3105.03
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	10.61	10.08	11.14
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	73.15	66.94	69.98

Los datos registrados y los cálculos derivados de este ensayo se encuentran detalladamente documentados en el Anexo 12. Además, los datos obtenidos fueron con la aplicación de las ecuaciones Ec. 14 a la Ec. 23 respectivamente.

Interpretación: De los 3 porcentajes de evaluados en la mezcla asfáltica con 5.5% y 6.0% de AC-20 demostraron cumplir los parámetros de diseño diferidos en la norma MOP-001-F 2002, presentando valores adecuados de estabilidad, flujo e índice de vacíos. Por otra parte, la mezcla de 6.5% de AC-20 presentó un porcentaje de vacíos llenos de asfalto elevado con un 69.98%, incumpliendo los límites máximos establecidos por la norma. [29]

o) Resultados de "Contenido Óptimo de AC – 20" en la Mezcla Asfáltica Tradicional:

El contenido óptimo de AC-20 se determinó promediando 3 porcentajes obtenidos de las curvaturas de diseño correspondientes de la densidad máxima. Al 4% de vacíos y la máxima

estabilidad respectivamente. A partir de este promedio de estos 3 porcentajes se obtuvo el valor óptimo de asfalto cuya validez quedó condicionada conforme al cumplimiento de las especificaciones Marshall contempladas en la Tabla IV. [29]

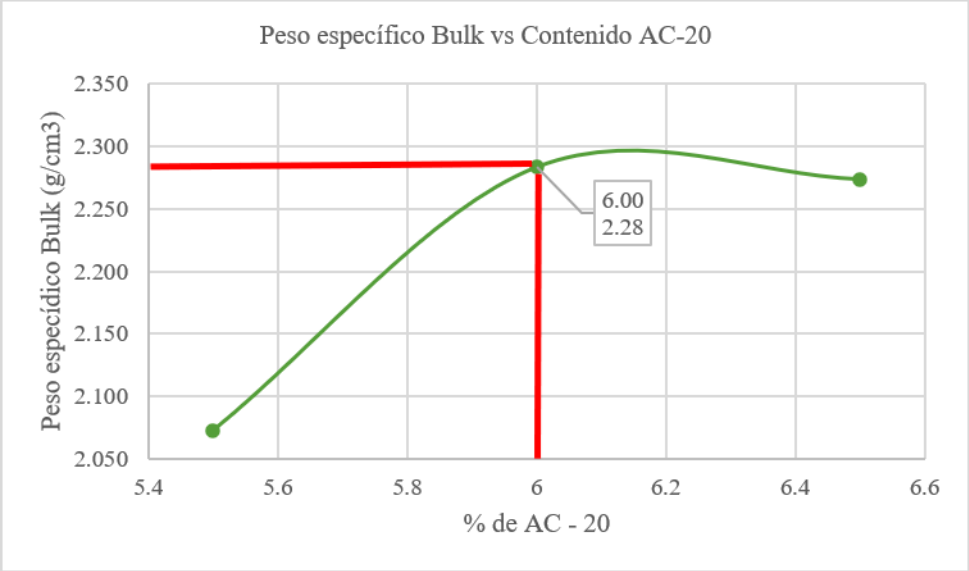


Fig. 21 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: En la Fig. 21 se observa que el peso específico Bulk incrementa progresivamente conforme aumenta la cantidad de contenido de AC-20, alcanzando su punto máximo cerca del 6.0% de asfalto con peso específico de 2.28 g/cm^3 y luego presenta una tendencia decreciente.

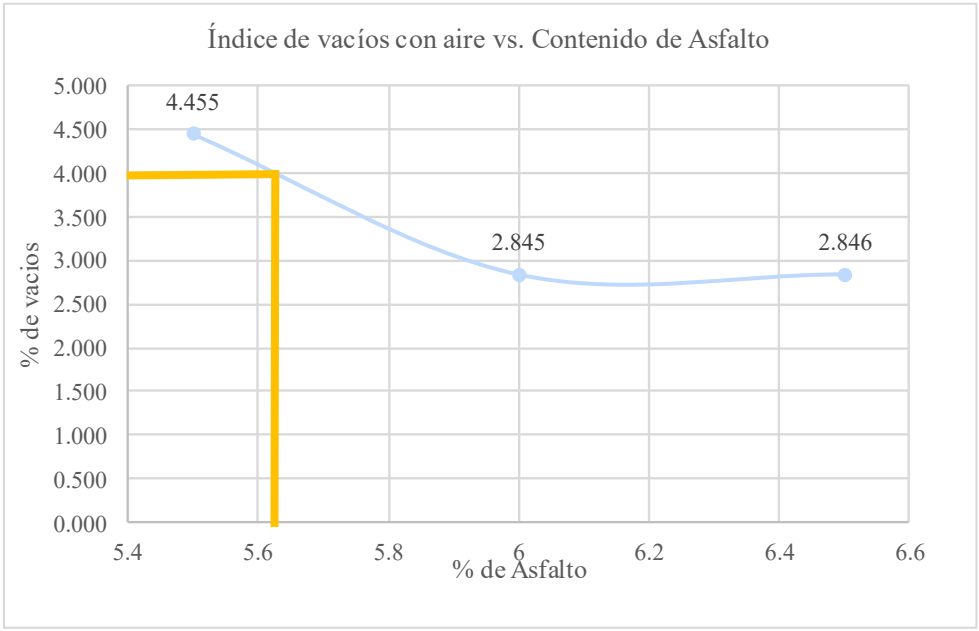


Fig. 22 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: La curva presentada en la Fig. 22 muestra el índice de vacíos de aire el cual disminuye conforme se aumenta el contenido del asfalto, partiendo de un 4.455% con 5.5% de AC-20 hasta estabilizarse en los valores cercanos a 2.845% para los porcentajes de 6.0% de AC-20 con un índice de 2.845% que contribuye uno de los tres porcentajes de empleados para determinar el contenido óptimo del asfalto, índice de vacíos que debe mantenerse en un rango admisible de entre 3.0% a 5.0%.

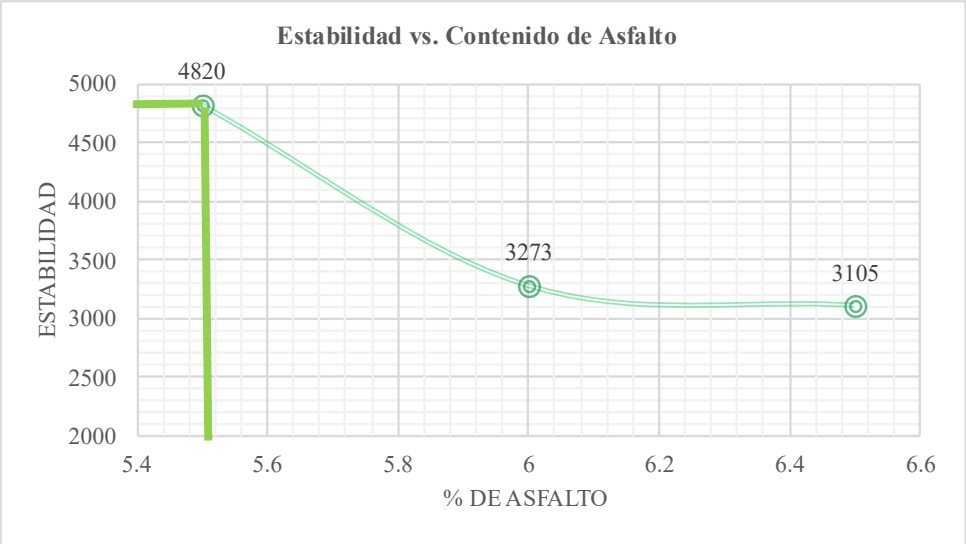


Fig. 23 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: La Fig. 23 muestra que la estabilidad decrece progresivamente al incrementarse el contenido de AC-20, registrando un valor máximo de 4820 lb con un 5.5% de asfalto y reduciéndose hasta 3105 lb con un 6.5% de AC-20. En el punto de intersección con la línea de referencia se ubica en 5.5% de AC-20 con una estabilidad de 4820 lb, el cual representa el porcentaje máximo de estabilidad obtenido y siendo superior a la mínima requerida de 1800 lb.

TABLA XXI
CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL	
Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	6.00
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	5.50
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	5.50
Contenido óptimo de AC – 20	5.67

Interpretación: En la Tabla XXII se realiza la interpretación tentativa de asfalto para la mezcla asfáltica tradicional, determinando mediante el promedio de los resultados obtenidos del diseño en Marshall, los porcentajes obtenidos son la densidad máxima, el índice de vacíos

y la máxima estabilidad que son usados respectivamente para obtener el contenido óptimo de 5.67% de AC-20, parámetro fundamental para la comparación de las mezclas modificadas con fibra de caña de azúcar y RAP.

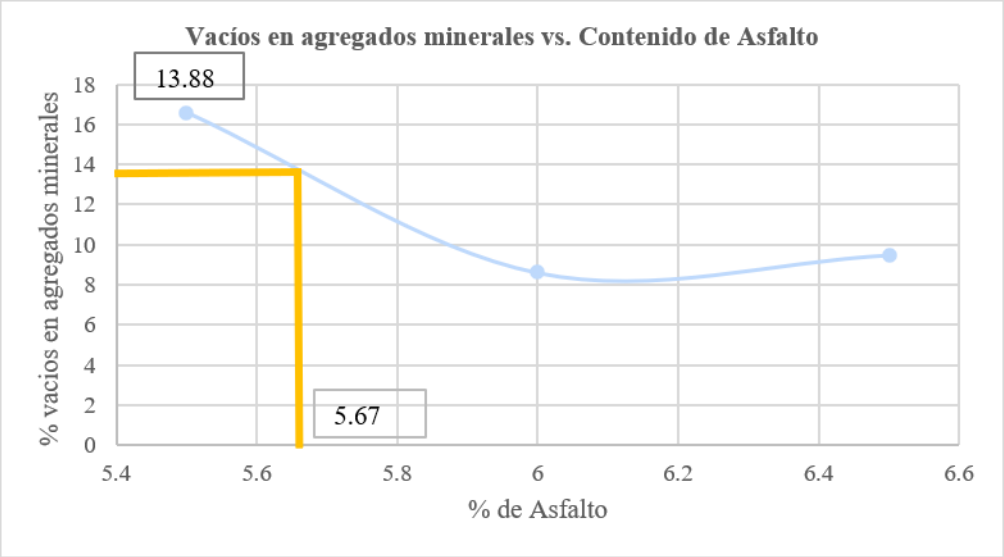


Fig. 24 Vacíos en agregaos minerales vs. Contenido de asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional.

Interpretación: La Fig. 24 refleja una tendencia decreciente de flujo conforme aumenta el contenido de AC-20. Al proyectar el contenido óptimo de asfalto de 5.67% sobre la curva se obtiene un valor de 13.88 pulg/100 resultado qué se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la normativa MOP-001-F 2002

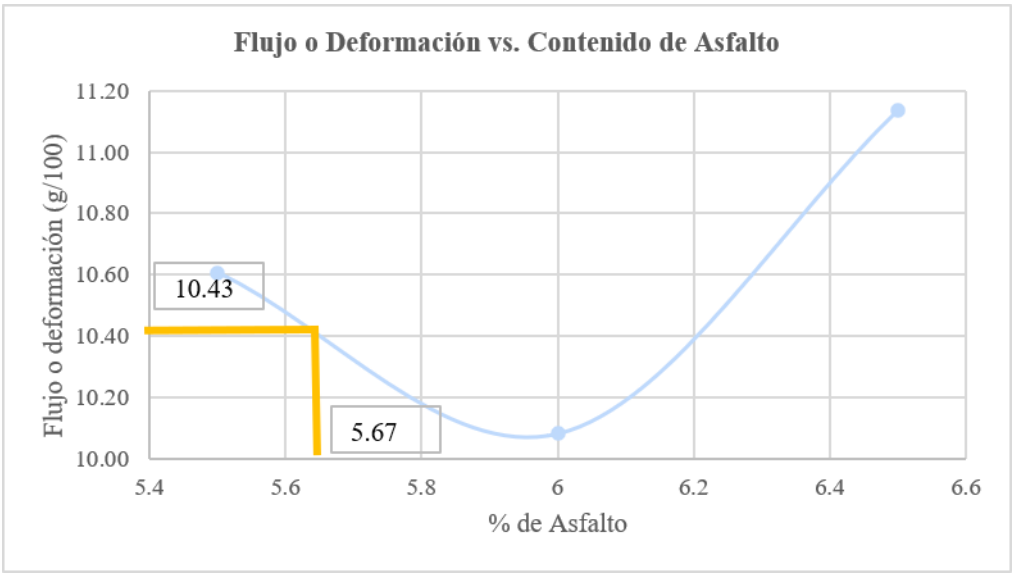


Fig. 25 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional.

Interpretación: La Fig. 25 refleja una tendencia decreciente de flujo hasta el porcentaje de 6.0% de AC-20 conforme aumenta el contenido a 6.5% de AC-20 recupera una tendencia creciente de flujo. Al proyectar el contenido óptimo de asfalto de 5.67% sobre la curva se obtiene un valor de 10.43 pulg/100 resultado qué se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la normativa MOP-001-F 2002

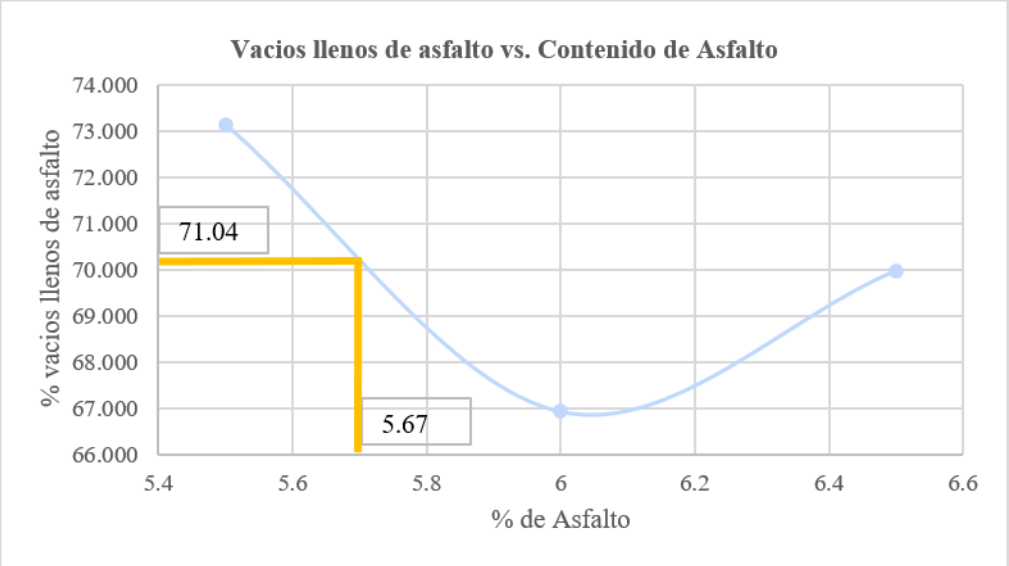


Fig. 26 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto de la mezcla Asfáltica Tradicional.

Interpretación: La Fig. 26 evidencia un comportamiento irregular en los vacíos llenos de asfalto, mediante la proyección del contenido óptimo de 5.67% se obtiene un valor de 71.04% de los vacíos llenos de asfalto, este valor se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma MOP-001-F 2002, confirmando que la mezcla asfáltica cumple con todos los rangos requeridos en el ensayo en Marshall.

p) Alternativas usadas de diseño de mezcla asfáltica modificada con adición de y pavimento asfáltico reciclado (RAP) y fibra de caña de azúcar:

El diseño de la mezcla asfáltica modificada consistió en añadir cierta cantidad de fibra de caña de azúcar que van en porcentajes de 0.2%, 0.3% y 0.4% juntamente con un porcentaje de pavimento asfáltico reciclado (RAP) que es del 10%, 20% y 30% juntamente con el cemento asfáltico AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5% respectivamente.

La fibra de caña de azúcar parcialmente forma parte del agregado fino mientras que el RAP forma parte parcial del agregado 3/8”, para ello se requiere su respectivo tamizado en él tamiz de 1/2" utilizando el RAP pasante y el retenido en el tamiz N° 4.

TABLA XXII
ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla Asfáltica Modificada - Fibra 0.2% - Rap 10%				
Materiales	**AC - 20**	**AC - 20**	**AC - 20**	**Unidad**
Porcentaje de asfalto	**5.5**	**6.0**	**6.5**	**%**
Peso Asfaltico	275	300	325.0	g
Agregado 3/4"	515.9	513.2	510.5	g
Agregado 3/8"	1710.8	1701.7	1692.7	g
Arena	2303.6	2291.4	2279.2	g
Fibra de Caña	4.6	4.6	4.6	g
RAP	190.1	189.1	188.1	g
Total	5000	5000	5000	g

TABLA XXIII
ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla Asfáltica Modificada - Fibra 0.3% - Rap 20%				
Materiales	**AC - 20**	**AC - 20**	**AC - 20**	**Unidad**
Porcentaje de asfalto	**5.5**	**6.0**	**6.5**	**%**
Peso Asfaltico	275.0	300.0	325.0	g
Agregado 3/4"	515.9	513.2	510.5	g
Agregado 3/8"	1520.7	1512.6	1504.6	g
Arena	2301.3	2289.1	2276.9	g
Fibra de Caña	6.9	6.9	6.9	g
RAP	380.17	378.16	376.15	g
Total	5000	5000	5000	g

TABLA XXIV
ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla Asfáltica Modificada - Fibra 0.4% - Rap 30%				
Materiales	**AC - 20**	**AC - 20**	**AC - 20**	**Unidad**
Porcentaje de asfalto	**5.5**	**6.0**	**6.5**	**%**
Peso Asfaltico	275.0	300.0	325	g
Agregado 3/4"	515.9	513.2	510.5	g
Agregado 3/8"	1330.6	1323.6	1310.5	g
Arena	2299.0	2286.8	2274.5	g
Fibra de Caña	9.2	9.2	9.2	g
RAP	570.3	567.24	570.26	g
Total	5000	5000	5000	g

Interpretación: En las tablas XXIII, XXIV y XXV se presenta las dosificaciones expresadas en gramos de cada material y agregado que compone la mezcla asfáltica modificada en sus diferentes proporciones cada una identificada con su respectivo porcentaje de añadidura de fibra de caña de azúcar y porcentaje de asfalto reciclado, el peso de la cantidad de agregados esta

expresado en gramos y para la realización de las briquetas asfálticas se realiza un total de 5000 g de la mezcla asfáltica modificada.

q) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada:

Para el ensayo Rice de las mezclas asfálticas modificadas se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA XXV
RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 10%, FIBRA 0.2%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.33
6.00%	2.30
6.50%	2.30

TABLA XXVI
RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 20%, FIBRA 0.3%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.31
6.00%	2.29
6.50%	2.30

TABLA XXVII
RESULTADO DEL ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP

ENSAYO RICE DE LA MEZCLA ASFALTICA - RAP 30%, FIBRA 0.4%	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.23
6.00%	2.27
6.50%	2.40

El cálculo del valor resultante del ensayo RICE para cada porcentaje de AC-20 se realizó con la aplicación de la Ec.24. De manera detallada los resultados obtenidos en este ensayo se encuentran de manera detallada, los resultados de este ensayo se encuentran en el Anexo 11.

Interpretación: En las tablas XXVI, XXVII y XXVIII se detalla el porcentaje de AC-20 implementado en la mezcla asfáltica modificada y de igual manera los valores de fibra de caña de azúcar y el porcentaje de pavimento asfaltico reciclado RAP de los cuales se realizó los cálculos correspondientes para la obtención del valor del ensayo RICE. Para este tipo de ensayo los valores deben estar en un rango de 2.3 a 2.5, para determinar que la mezcla asfáltica está dentro de los rangos establecidos por la norma vigente. Conforme a los datos obtenidos se puede

observar que las mezclas con menor proporción de RAP presentarán valores más estables y cercanos entre sí mientras que en la combinación de 30% de RAP y 0.4% de fibra de caña de azúcar mostró una variación más pronunciada lo que refleja que entre los porcentajes de AC-20, refleja una mayor sensibilidad de esta mezcla ante mayores cambios de contenido de asfalto.

o) Resultados de las propiedades: Mezcla Asfáltica Modificada, Criterios Marshall:

TABLA XXVIII
RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 10.00% RAP

Resultado de las propiedades mezcla asfáltica modificada con 0.20% de fibra de caña de azúcar y 10.00% rap			
Criterios Marshall	5.5% AC - 20	6.0% AC - 20	6.5% AC - 20
Número de golpes en cada cara de la probeta	75	75	75
Peso específico Bulk (g/cm^3)	2.27	2.27	2.25
Índice de vacíos con aire	2.25	1.54	9.06
Vacíos en agregados minerales (%)	8.52	9.33	1.47
Estabilidad en libras (lb)	2236.31	2034.90	2359.52
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	10.66	10.72	11.05
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	73.59	83.52	13.93

TABLA XXIX
RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 20.00% RAP

Resultado de las propiedades mezcla asfáltica modificada con 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00% rap			
Criterios Marshall	5.5% AC - 20	6.0% AC - 20	6.5% AC - 20
Número de golpes en cada cara de la probeta	75	75	75
Peso específico Bulk (g/cm^3)	2.27	2.26	2.26
Índice de vacíos con aire	1.94	1.33	1.62
Vacíos en agregados minerales (%)	8.80	9.41	8.27
Estabilidad en libras (lb)	2308.73	2118.59	2185.02
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	10.91	10.98	10.99
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	77.95	85.87	83.63

TABLA XXX
RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR Y 30.00% RAP

Resultado de las propiedades mezcla asfáltica modificada con 0.40% de fibra de caña de azúcar y 30.00% rap			
Criterios Marshall	5.5% AC - 20	6.0% AC - 20	6.5% AC - 20
Número de golpes en cada cara de la probeta	75	75	75
Peso específico Bulk (g/cm^3)	2.20	2.27	2.27
Índice de vacíos con aire	1.35	0.31	5.42
Vacíos en agregados minerales (%)	11.39	9.31	4.19
Estabilidad en libras (lb)	2779.45	2743.37	3184.85
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	10.24	10.35	11.22
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	88.18	96.68	43.60

El cálculo del valor resultante se obtuvo con la aplicación de las ecuaciones Ec. 14 a la Ec. 23 respectivamente. De manera detallada los resultados obtenidos en este ensayo se encuentran en el Anexo 14.

Interpretación: En el análisis comparativo de las tablas XXIX, XXX y XXXI con la mezcla asfáltica modificada con 0.20% de fibra de caña de azúcar y 10.00% RAP, 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00% RAP, 0.40% de fibra de caña de azúcar y 30.00% RAP, presentan diferentes generalidades en sus propiedades mecánicas respecto a los parámetros normativos. Los índices de vacíos con aire se ubican mayoritariamente por debajo del límite mínimo requerido, mientras que los porcentajes de vacíos llenos de asfalto exceden ampliamente los rangos admisibles en casi todas las combinaciones evaluadas. En cuanto a la estabilidad se mantiene por debajo de los datos registrados de la mezcla tradicional en todos los casos, con estos datos obtenidos se puede determinar que ninguna de las mezclas evaluada satisface los criterios de Marshall con respecto a la norma MOP-001-F 2002.

p) Resultados de “Contenido Óptimo de AC – 20”: Mezcla Asfáltica Modificada:

Los resultados del contenido óptimo de AC-20 en la mezcla asfáltica modificada se presenta en tres gráficos en los cuales presentan las siguientes generalidades:

El porcentaje de AC – 20 que alcanza la máxima densidad o peso específico.

El porcentaje de AC – 20 relacionado con el 4% del índice de vacíos.

El porcentaje de AC – 20 que alcanza la máxima estabilidad.

El porcentaje óptimo de asfalto se obtiene mediante estos tres valores cuando la mezcla asfáltica cumpla los criterios Marshall especificados en la Tabla IV. En las siguientes gráficas se observa los resultados de la mezcla asfáltica modificada con fibra de caña de azúcar y pavimento asfáltico reciclado.

Mezcla Asfáltica Modificada, 10.00% Rap Y 0.20% De Fibra De Caña De Azúcar

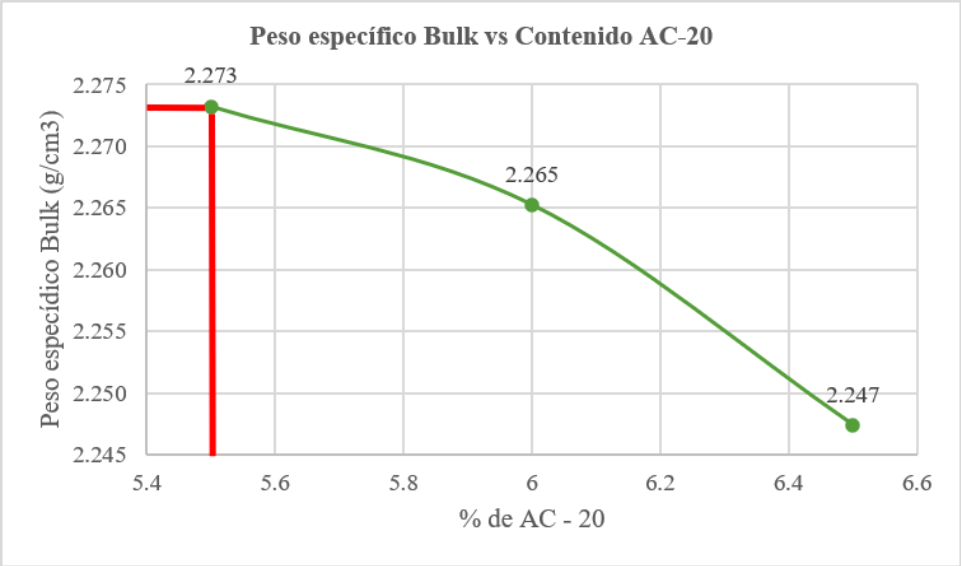


Fig. 27 Resultado peso específico BulK vs contenido AC-20 mezcla asfáltica modificada, 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar

Interpretación: En la Fig. 27 se muestra la relación entre el peso específico Bulk y el contenido AC-20 para la mezcla asfáltica modificada con 0.2% de fibra de caña de azúcar y 10.0% de RAP mostrando una tendencia decreciente y sostenida conforme aumenta el porcentaje de asfalto. Obteniendo el mayor peso específico Bulk de 2.273 g/cm^3 con un porcentaje de asfalto de 5.5%, este valor disminuye progresivamente hasta alcanzar el 2.247 g/cm^3 con 6.5% de AC-2.

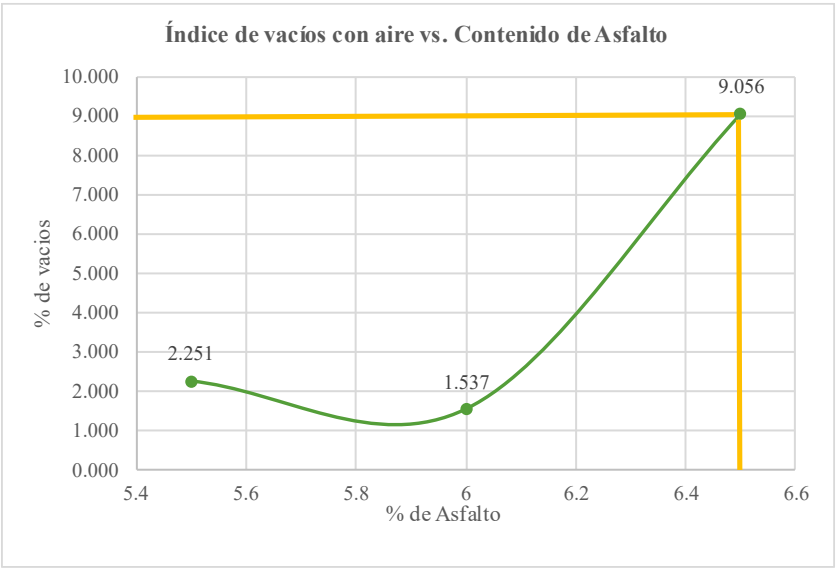


Fig. 28 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar

Interpretación: En la Fig. 28 Se muestra el comportamiento del índice de vacíos con aire en función del contenido AC-20 para la mezcla modificada con 0.20% de fibra y 10.00 de RAP. La curva presenta una tendencia decreciente con valores de 2.251% con contenido de 5.5% de AC-20 y un valor de 1.537 con contenido de 6.0% de AC-20, mientras que con contenido de 6.5% de AC-20 se obtiene el mayor valor de 9.056%. Este comportamiento irregular indica que el 6.5% de asfalto genera un exceso de vacíos superando el límite normativo y en cuanto a los valores de 5.5% y 6% se ubican por el debajo mínimo requerido que es 3%.

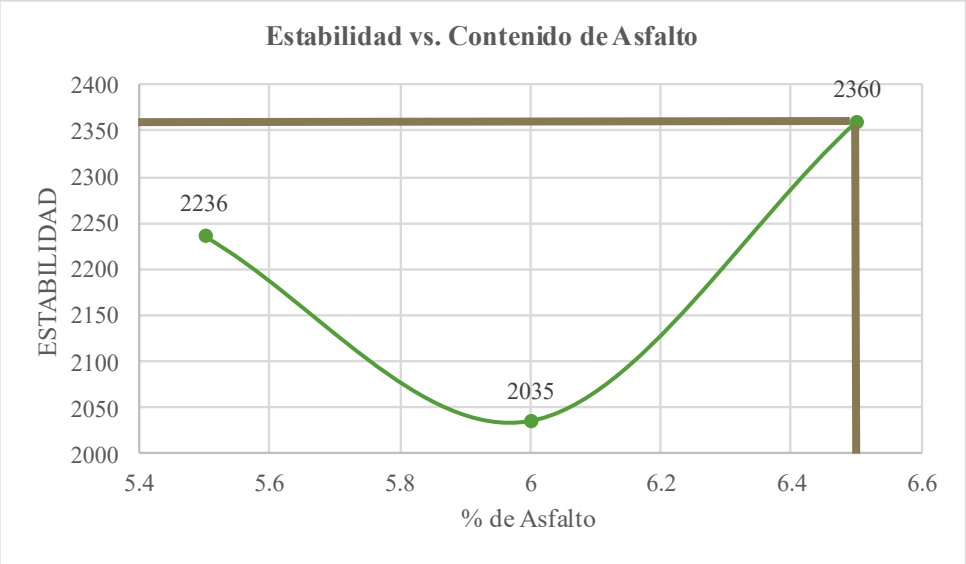


Fig. 29 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10.00% RAP y 0.20% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 29 se muestra la relación entre la estabilidad y el contenido de AC-20 para la mezcla modificada con 0.20% de fibra y 10.00% de RAP. La curva presenta una tendencia decreciente el cual parte desde el valor de 2236 lb con 5.5% de AC-20, un valor mínimo de 2035 en el porcentaje de 6.0% de AC-20, Mientras que el umbral máximo de estabilidad con un valor de 2360 lb en el porcentaje de 6.5% de AC-20, evidenciando que los tres valores de obtenidos son inferiores a los de la mezcla tradicional.

TABLA XXXI
CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 10.00% RAP Y 0.20% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA 10% RAP Y 0.2% FIBRA	
Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.50
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.50
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.50
Contenido óptimo de AC – 20	6.17

Interpretación: En la Tabla XXXII se realiza la interpretación tentativa de asfalto para la mezcla asfáltica modificada con 0.20% de fibra de caña de azúcar y 10.00% de pavimento asfáltico reciclado, cabe recalcar que en el ensayo Marshall realizado el promedio de los 3 criterios analizados no cumplen con los parámetros Marshall que se encuentran en la Tabla IV de la norma MOP-001-F 2002, por lo tanto, esta combinación no es viable para su aplicación en la mezcla asfáltica.

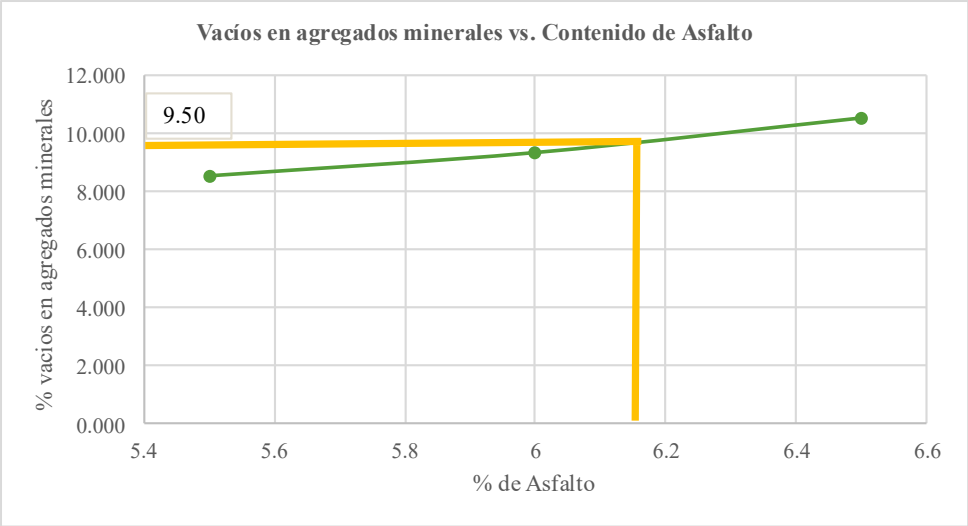


Fig. 30 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña De Azúcar.

Interpretación: La Fig. 30 muestra una tendencia creciente de los vacíos en los agregados minerales conforme aumenta el contenido de AC-20, al proyectar el contenido optimo tentativo de asfalto con un valor de 6.17% se obtuvo un valor de 9.50% de vacíos en agregados minerales, valor que se encuentra dentro del rango admisible establecido por la MOP-001-F 2002.

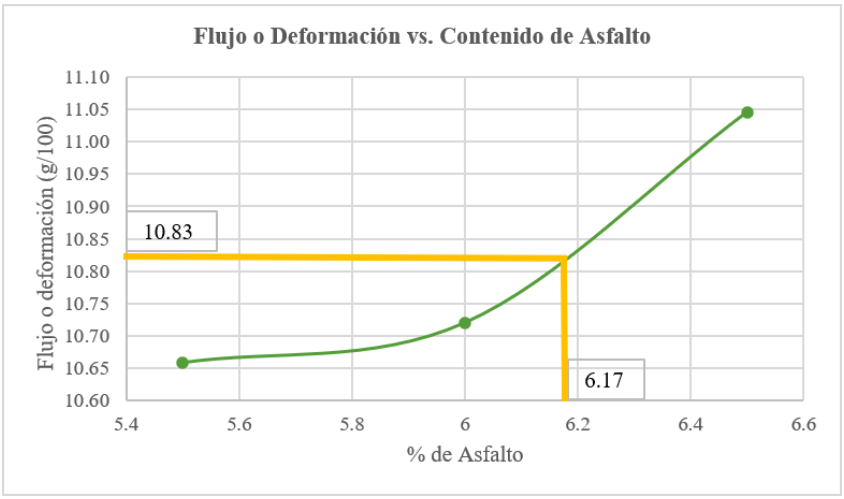


Fig. 31 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 31 refleja una tendencia creciente de flujo conforme aumenta el contenido de AC-20. Al proyectar el contenido óptimo de asfalto de 6.17% sobre la curva se obtiene un valor de 10.83 pulg/100 resultado qué se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la normativa MOP-001-F 2002

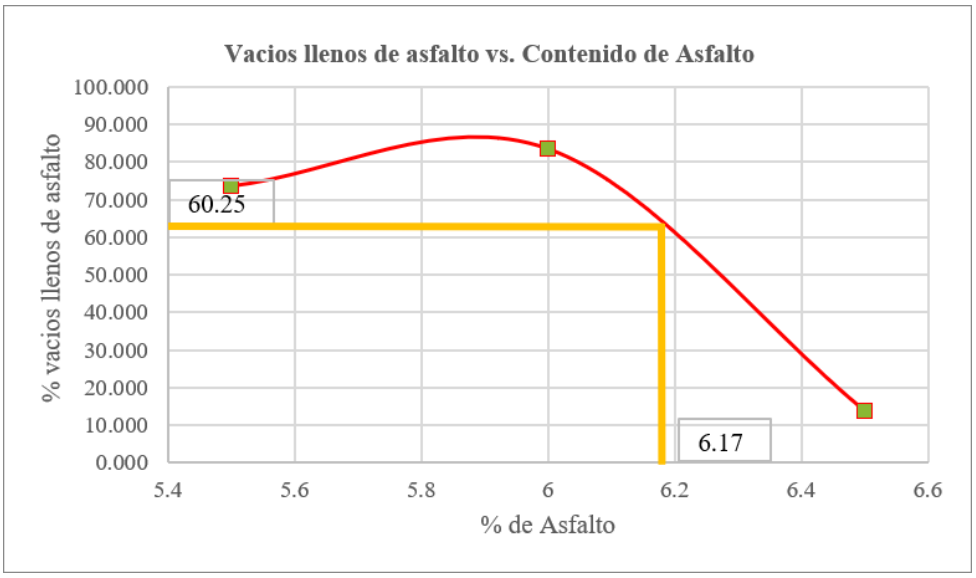


Fig. 32 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 32 evidencia un comportamiento irregular en los vacíos llenos de asfalto, mediante la proyección del contenido óptimo de 6.70% se obtiene un valor de 60.25% de los vacíos llenos de asfalto, este valor incumple los límites establecidos por la norma MOP-001-F 2002, Determinando de esta manera que la combinación de 10.00% de RAP y 0.20% hoja de fibra de caña de azúcar no representa una alternativa viable para la aplicación en una carpeta asfáltica.

Mezcla Asfáltica Modificada, 20.00% Rap Y 0.30% De Fibra De Caña De Azúcar

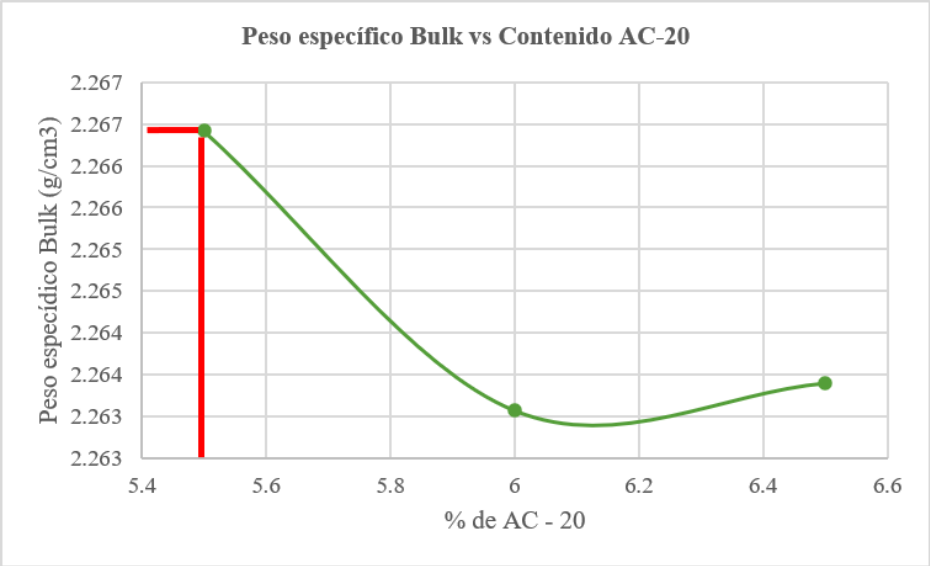


Fig. 33 Resultado peso específico BulK vs contenido AC-20 mezcla asfáltica modificada, 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 33 se muestra la relación entre el peso específico Bulk y el contenido AC-20 para la mezcla asfáltica modificada con 0.3% de fibra de caña de azúcar y 20.0% de RAP mostrando una tendencia decreciente desde 5.5% hasta 6.0% de AC-20 y muestra una tendencia creciente desde el punto de densidad mínima hasta el contenido de 6.5%, la densidad máxima es de 2.267 g/cm3 la encontramos en la incorporación de 5.5% de AC-20.

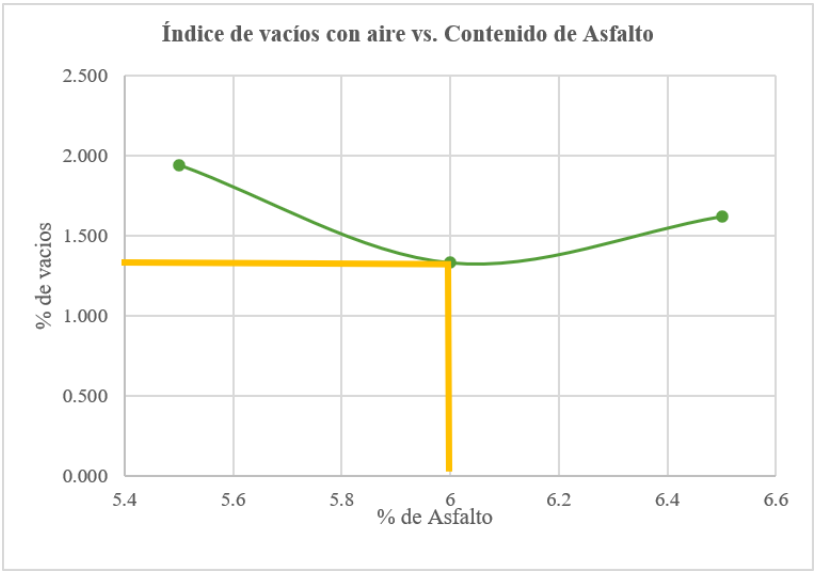


Fig. 34 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 34 se muestra el comportamiento del índice de vacíos con aire en función del contenido AC-20 para la mezcla modificada con 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00 de RAP. La curva presenta un índice de vacío con aire con su valor mínimo de 1.33% con 6.0% de AC-20. Todos estos valores mantienen un rango menor al mínimo establecido por la norma que es 3.0%, este comportamiento atípico indica que la mezcla modificada no es viable como una alternativa al asfalto convencional.

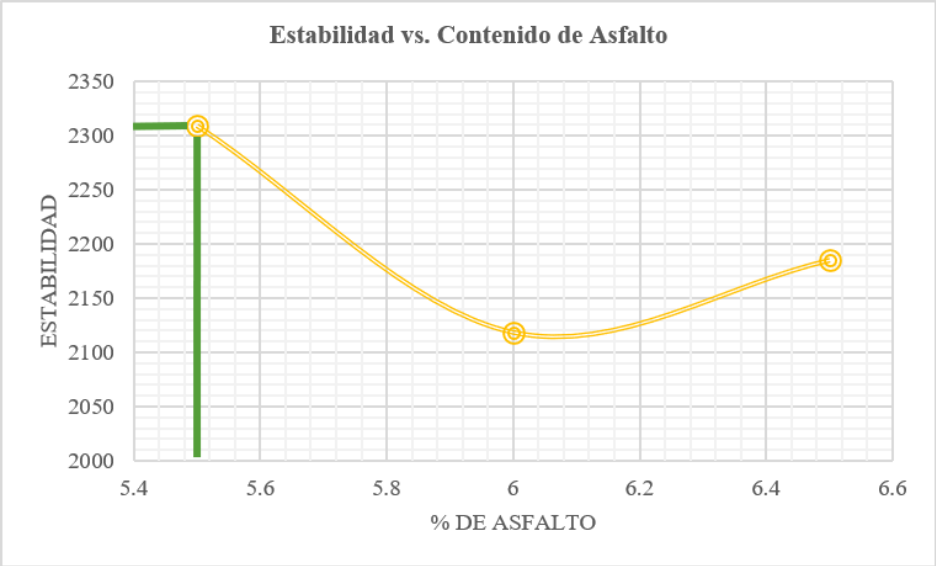


Fig. 35 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 20.00% RAP y 0.30% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 35 se muestra la relación entre la estabilidad y el contenido de AC-20 para la mezcla modificada con 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00% de RAP. La curva presenta una tendencia decreciente desde su punto máximo en el porcentaje de 5.5% de AC-20 hasta el 6.0% y una ligera recuperación en el porcentaje de estabilidad en el 6.5% de AC-20. El porcentaje máximo de estabilidad se encuentra en el contenido de 5.5% de AC-20.

TABLA XXXII
CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 20.00% RAP Y 0.30% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA 20% RAP Y 0.3% FIBRA	
Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.50
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.00
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	5.50
Contenido óptimo de AC – 20	5.67

Interpretación: En la Tabla XXXIII se realiza la interpretación tentativa de asfalto para la mezcla asfáltica modificada con 0.30% de fibra de caña de azúcar y 20.00% de pavimento

asfáltico reciclado, se ha determinado que el valor óptimo tentativo de A C-20 para esta mezcla asfáltica modificada es de 5.67%, valor obtenido mediante el promedio de los porcentajes correspondientes a la densidad máxima Bulk de 5.5%, y el índice mínimo de vacíos de 6.0%. Este valor forma parte del punto de partida para la verificación del cumplimiento de los criterios Marshall establecidos por la norma MOP-001-F 2002. Cabe recalcar que en el ensayo Marshall realizado el promedio de los tres criterios analizados no cumplen con los parámetros Marshall que se encuentran en la Tabla IV de la norma MOP-001-F 2002, por lo tanto, esta combinación no es viable para su aplicación en la mezcla asfáltica.

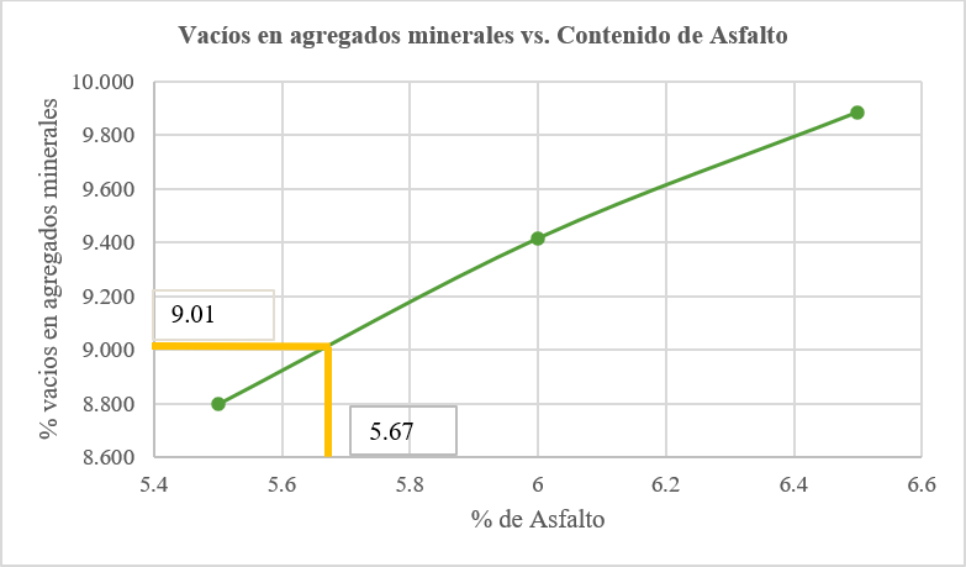


Fig. 36 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 20.00% RAP Y 0.30% De Fibra De Caña De Azúcar.

Interpretación: En la Fig.36 muestra una tendencia creciente de los vacíos en los agregados minerales conforme aumenta el contenido de AC-20, al proyectar el contenido optimo tentativo de asfalto con un valor de 5.67% se obtuvo un valor de 9.01% de vacíos en agregados minerales, valor que se encuentra dentro del rango admisible establecido por la MOP-001-F 2002.

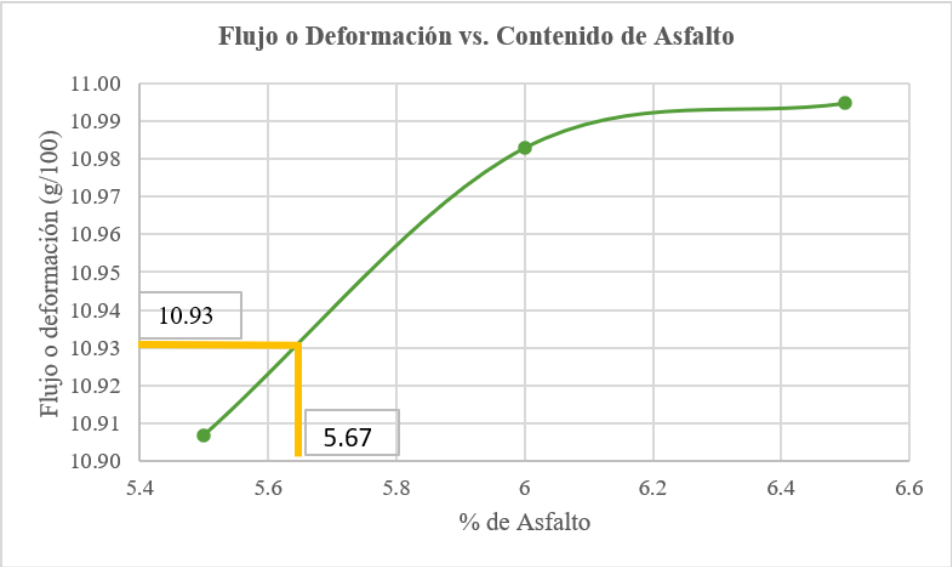


Fig. 37 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 20.00% RAP Y 0.30% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 37 refleja una tendencia creciente de flujo conforme aumenta el contenido de AC-20. Al proyectar el contenido óptimo de asfalto de 5.67% sobre la curva se obtiene un valor de 10.93 pulg/100 resultado qué se encuentra dentro de los parámetros desde 8 a 14 pulg/100 establecidos por la normativa MOP-001-F 2002.

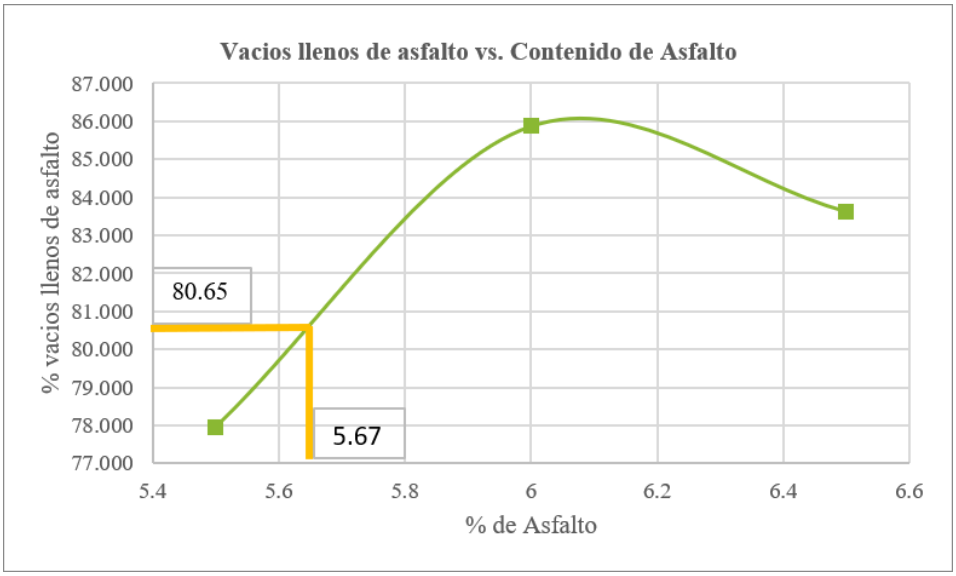


Fig. 38 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10.00% RAP Y 0.20% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 38 evidencia un crecimiento progresivo entre los diferentes contenidos de AC-20 alcanzando su pico máximo de 85.872% en el porcentaje de 6.0% de AC-20. Al proyectar el valor del contenido óptimo de 5.67% sobre la curva se obtiene un valor de 80.65%, valor que supera el límite máximo de 75% establecido por la norma MOP-001-F 2002.

Confirmando que esta mezcla modificada no cumple con todos los criterios Marshall requeridos.

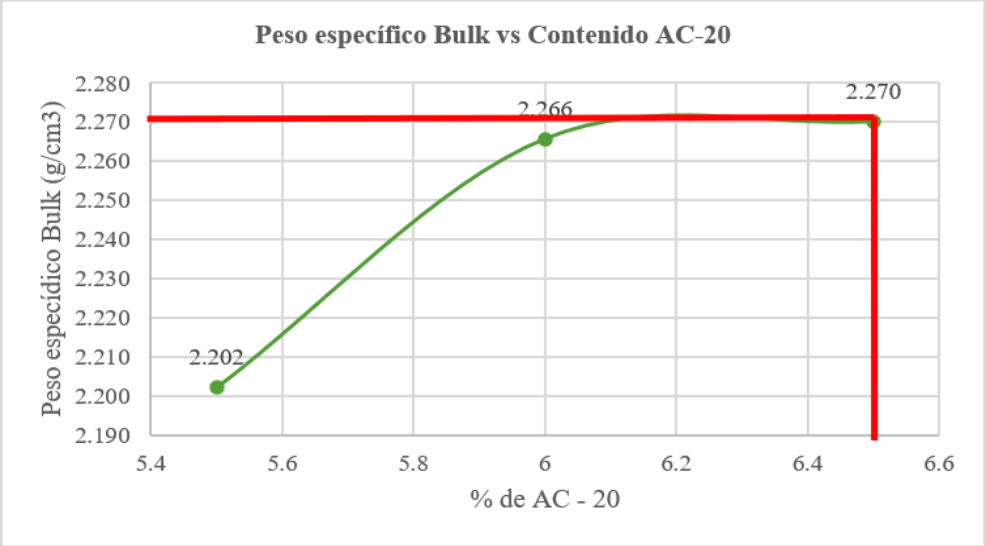


Fig. 39 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 39 se muestra la relación entre el peso específico Bulk y el contenido AC-20 para la mezcla asfáltica modificada con 0.4% de fibra de caña de azúcar y 30.0% de RAP mostrando una tendencia creciente desde 5.5% hasta 6.5% de AC-20, la densidad máxima es de 2.270 g/cm3 la encontramos en la mezcla asfáltica con un contenido de 6.5% de AC-20.

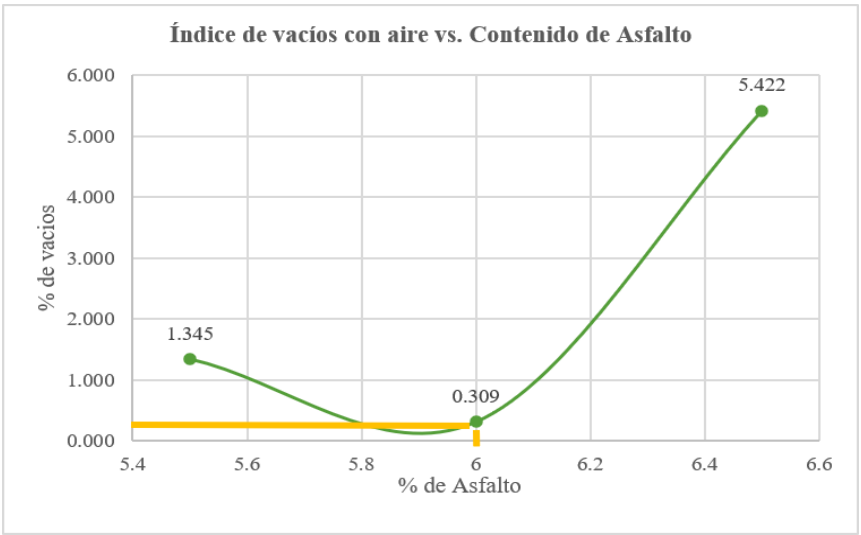


Fig. 40 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar

Interpretación: En la Fig. 40 se muestra el comportamiento del índice de vacíos con aire en función del contenido AC-20 para la mezcla modificada con 0.40% de fibra de caña de azúcar y 30.00 de RAP. La curva presenta un índice de vacío con aire con su valor mínimo de 0.309% con 6.0% de AC-20. Los dos primeros valores mantienen un rango menor al mínimo establecido por la norma que es 3.0%, mientras que en 6.5% incrementa bruscamente hasta 5.422%.

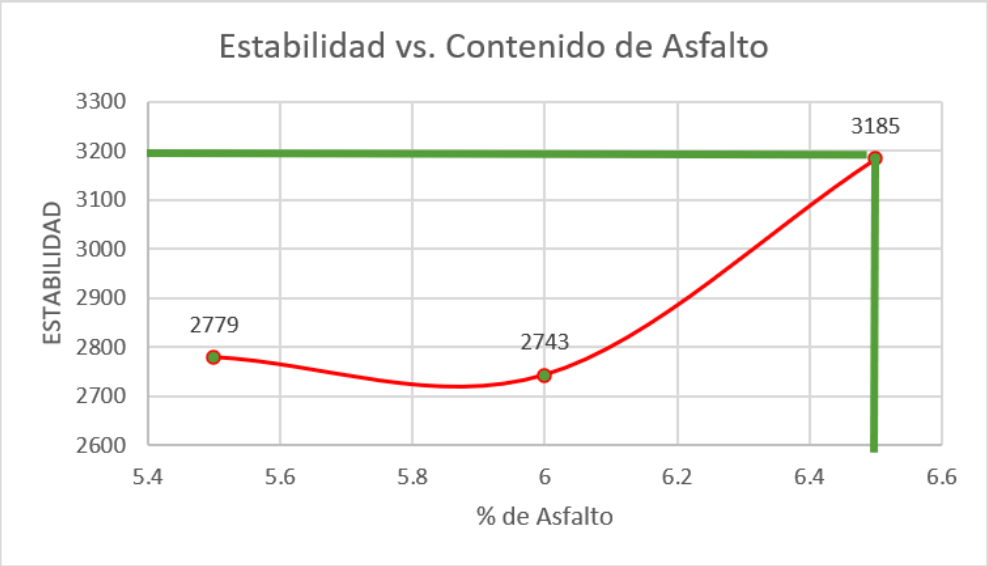


Fig. 41 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 30.00% RAP y 0.40% de fibra de caña de azúcar.

Interpretación: En la Fig. 41 se muestra la relación entre la estabilidad y el contenido de AC-20 para la mezcla modificada con 0.40% de fibra de caña de azúcar y 30.00% de RAP. La curva presenta una tendencia decreciente desde el porcentaje de 5.5% hasta el 6.0% y luego creciente hasta alcanzar su punto máximo en el porcentaje de 6.5% de AC-20 con un valor de 3185 lb cuyo valor fue necesario para construir un valor tentativo optimo para la mezcla asfáltica modificada.

TABLA XXXIII
CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 30.00% RAP Y 0.40% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

CONTENIDO ÓPTIMO TENTATIVO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA 30% RAP Y 0.4% FIBRA	
Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	6.50
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.00
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.50
Contenido óptimo de AC – 20	6.33

Interpretación: En la Tabla XXXIII se realiza la interpretación tentativa de asfalto para la mezcla asfáltica modificada con 0.40% de fibra de caña de azúcar y 30.00% de pavimento asfáltico reciclado, se ha determinado que el valor óptimo tentativo de A C-20 para esta mezcla asfáltica modificada es de 6.33%, valor obtenido mediante el promedio de los porcentajes correspondientes a la densidad máxima Bulk de 6.5%, y el índice mínimo de vacíos de 6.0% y la estabilidad de 6.5%. Este valor forma parte del punto de partida para la verificación del cumplimiento de los criterios Marshall establecidos por la norma MOP-001-F 2002.

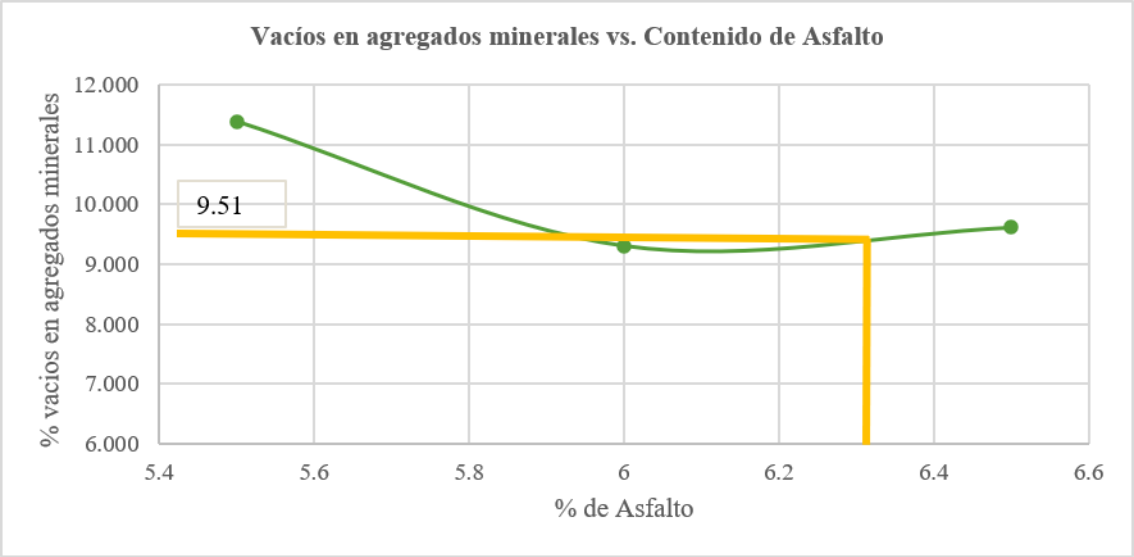


Fig. 42 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña De Azúcar.

Interpretación: En la Fig. 42 muestra una tendencia decreciente de los vacíos en los agregados minerales conforme aumenta el contenido de AC-20 y con una ligera recuperación en el porcentaje de 6.5%, al proyectar el contenido optimo tentativo de asfalto con un valor de

6.33% se obtuvo un valor de 9.51% de vacíos en agregados minerales, valor que se encuentra dentro del rango admisible establecido por la MOP-001-F 2002.

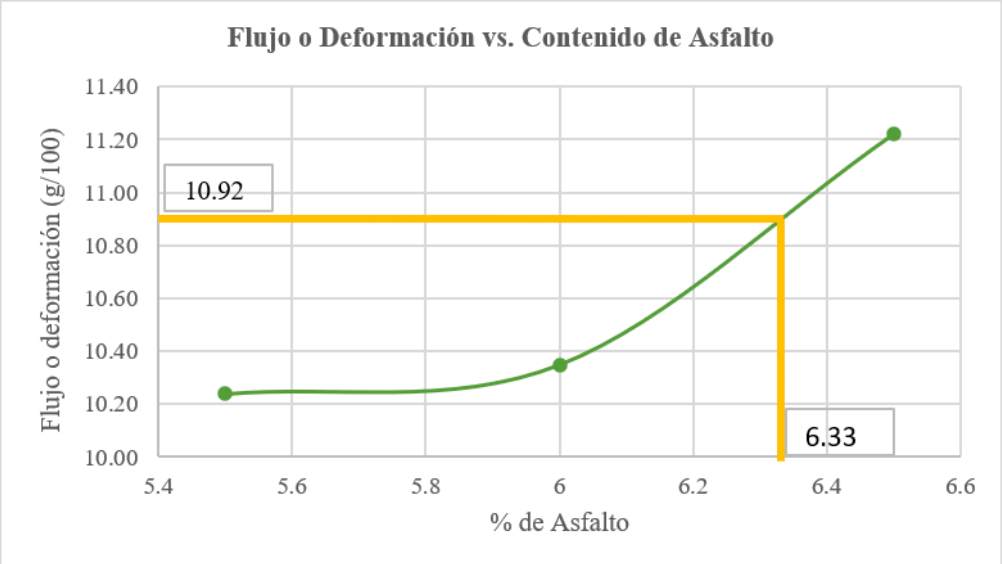


Fig. 43 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 43 refleja una tendencia creciente de flujo conforme aumenta el contenido de AC-20. Al proyectar el contenido óptimo de asfalto de 6.33% sobre la curva se obtiene un valor de 10.92 pulg/100 resultado qué se encuentra dentro de los parámetros desde 8 a 14 pulg/100 establecidos por la normativa MOP-001-F 2002.

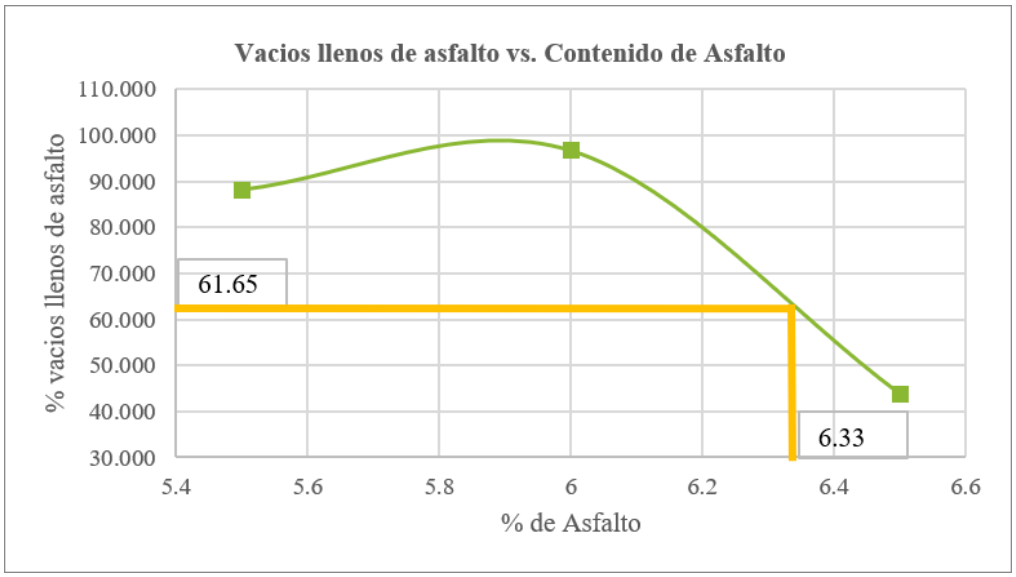


Fig. 44 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 30.00% RAP Y 0.40% De Fibra De Caña.

Interpretación: La Fig. 44 evidencia un crecimiento progresivo entre los diferentes contenidos de AC-20 alcanzando su pico máximo de 96.678% en el porcentaje de 6.0% de AC-

20, Para luego descender pronunciadamente hasta 43. 602% con 6.5%. Al proyectar el valor del contenido óptimo de 6.33% sobre la curva se obtiene un valor de 61.65%, valor que se encuentra por debajo del límite mínimo de 65% a 75% establecido por la norma MOP-001-F 2002. Confirmando que esta mezcla modificada no cumple con todos los criterios Marshall requeridos.

3) Fase 3

En esta fase de la investigación se realiza la comparación de los resultados obtenidos estilos de ensayos de las mezclas asfálticas tradicionales y las modificadas con fibra de caña de azúcar y pavimento asfáltico reciclado.

a) Comparación de los resultados entre la Mezcla asfáltica Tradicional y la Mezcla asfáltica Modificada

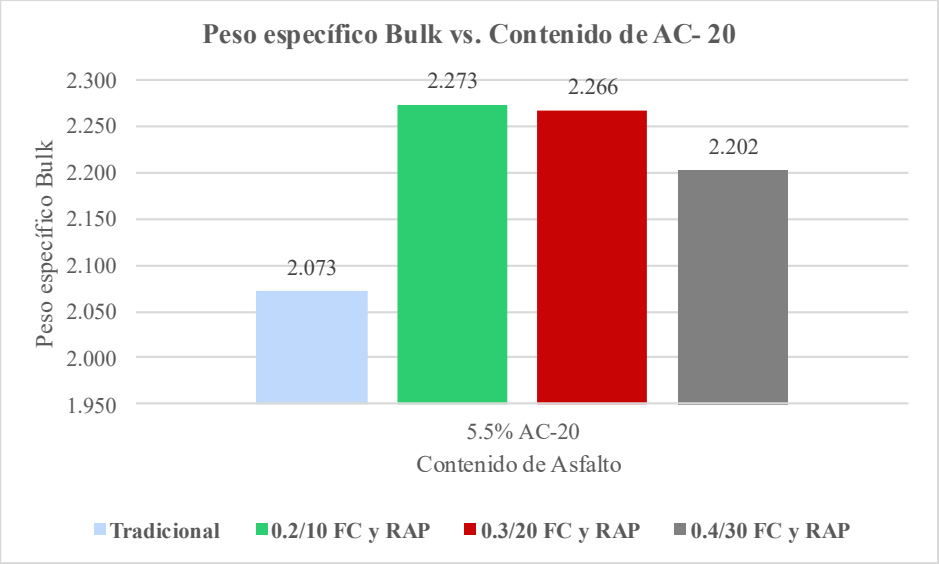


Fig. 45 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 5.5% de AC-20

Interpretación: La Fig. 45 presenta la comparación del peso específico Bulk al 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que todas las mezclas con fibra de caña de azúcar y pavimento asfáltico reciclado superan el valor de la mezcla tradicional la cual tiene un valor de 2.073 g/cm^3. Las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 registraron valores de 2.273, 2.266 y 2.202 g/cm^3 respectivamente. Siendo la combinación de 0.2% de fibra y 10.0% de RAP la que alcanzó la mayor densidad entre las tres mezclas asfálticas modificadas.

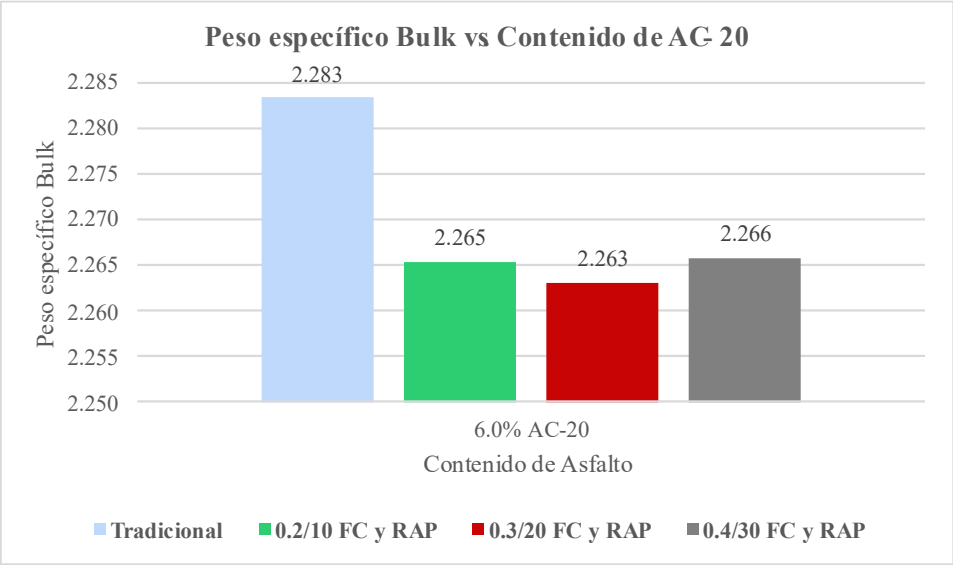


Fig. 46 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.0% de AC-20

Interpretación: La Fig. 46 presenta la comparación del peso específico Bulk al 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que todas las mezclas con fibra de caña de azúcar y pavimento asfáltico reciclado no superan el valor de la mezcla tradicional la cual tiene un valor de 2.283 g/cm^3. Las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 registraron valores de 2.265, 2.263 y 2.266 g/cm^3 respectivamente. Siendo la combinación de 0.3% de fibra y 20.0% de RAP la que alcanzó la menor densidad entre las tres mezclas asfálticas modificadas.

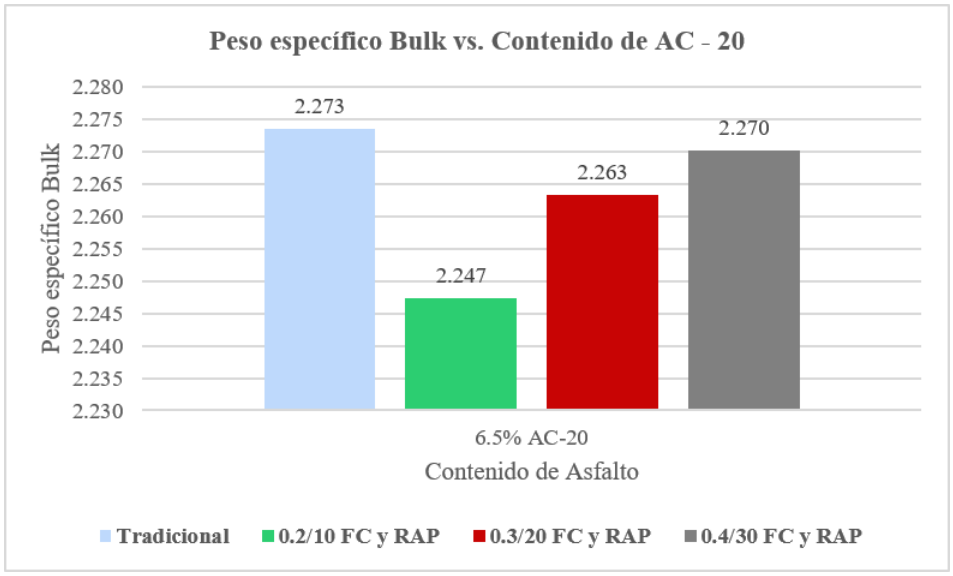


Fig. 47 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.5% de AC-20

Interpretación: La Fig. 47 presenta la comparación del peso específico Bulk al 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que todas las

mezclas con fibra de caña de azúcar y pavimento asfáltico reciclado no superan el valor de la mezcla tradicional la cual tiene un valor de 2.273 g/cm^3. Las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 registraron valores de 2.247, 2.263 y 2.270 g/cm^3 respectivamente. Siendo la combinación de 0.2% de fibra y 10.0% de RAP la que alcanzó la menor densidad entre las tres mezclas asfálticas modificadas.

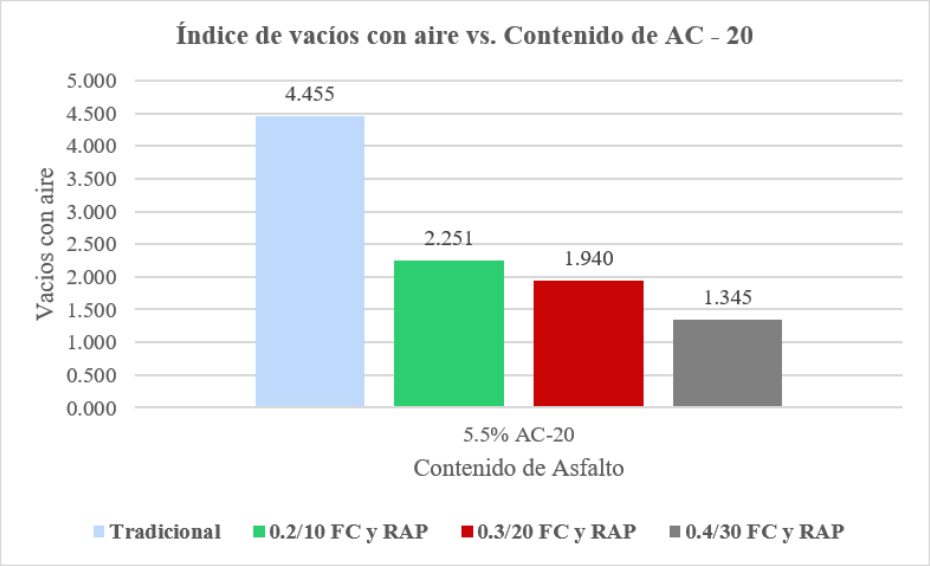


Fig. 48 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 48 presenta la comparación índice de vacíos con aire con 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor más alto de 4.455%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una disminución considerable con valores de 2.251,1.940 y 1.345 respectivamente. Ninguna mezcla modificada alcanza el rango optimo que va desde 3% a 5% establecido por la norma MOP-001-F 2002.

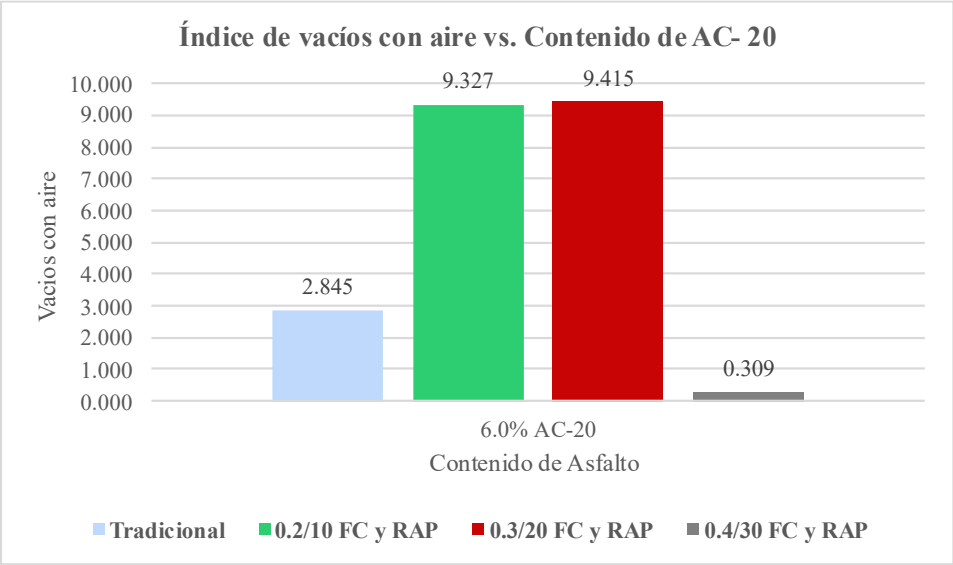


Fig. 49 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: La Fig. 49 presenta la comparación índice de vacíos con aire con 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 2.845%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una disminución considerable con valores de 9.327,9.415 y 0.309 respectivamente. Ninguna mezcla modificada alcanza el rango optimo que va desde 3% a 5% establecido por la norma MOP-001-F 2002.

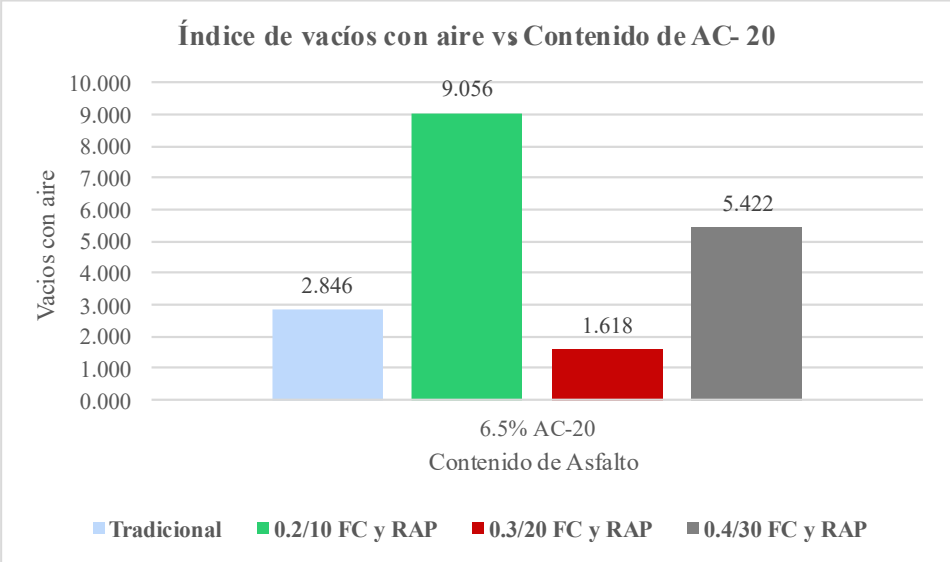


Fig. 50 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 50 presenta la comparación índice de vacíos con aire con 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 2.846%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10,

0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación considerable con valores de 9.056, 1.618 y 5.422 respectivamente. Ninguna mezcla modificada alcanza el rango optimo que va desde 3% a 5% establecido por la norma MOP-001-F 2002.

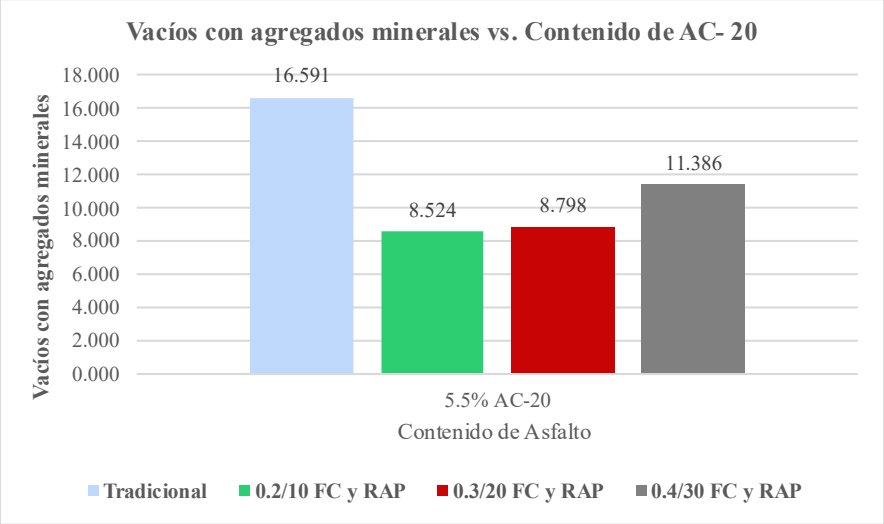


Fig. 51 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 51 presenta la comparación índice de vacíos con agregados de origen natural con 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 16.591%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una disminución considerable con valores de 8.524, 8.798 y 11.386 respectivamente. Evidenciando que la incorporación de RAP y Fibra de caña de azúcar reducen considerablemente los vacíos en agregados minerales respecto a la mezcla tradicional.

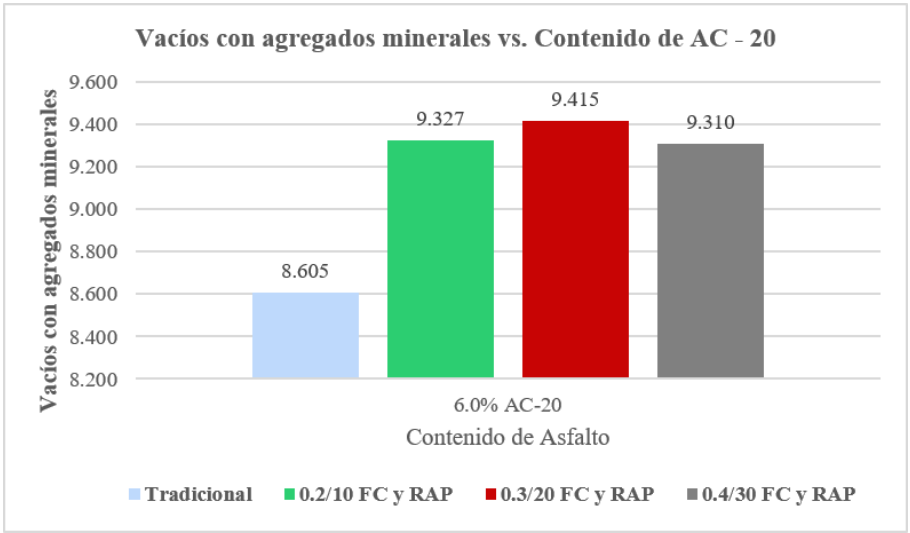


Fig. 52 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: La Fig. 52 presenta la comparación índice de vacíos con agregados de origen natural con 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 8.605%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen un incremento considerable con valores de 9.327, 9.415 y 9.310 respectivamente. Evidenciando que la incorporación de RAP y Fibra de caña de azúcar incrementan considerablemente los vacíos en agregados minerales respecto a la mezcla tradicional.

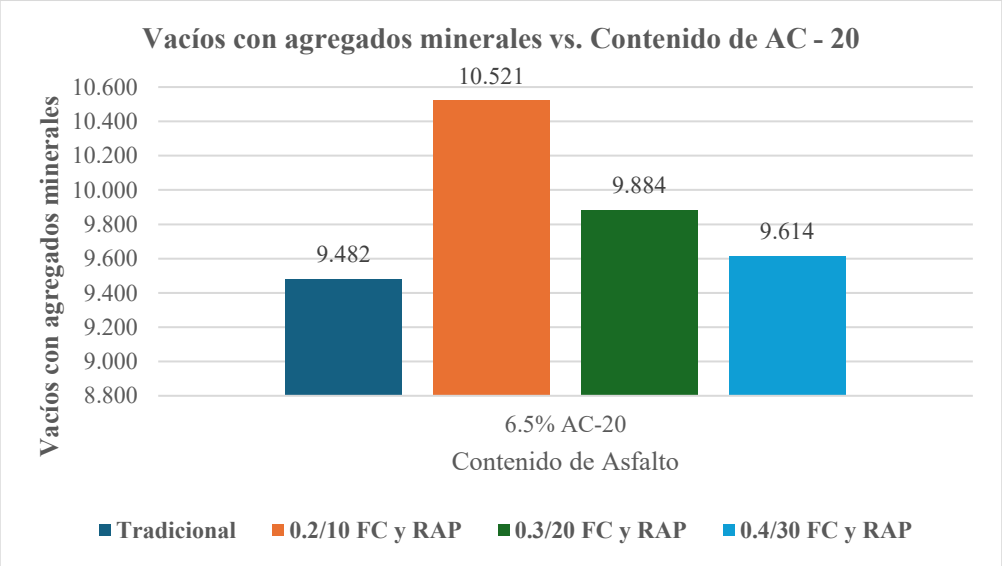


Fig. 53 Comparación de resultados – Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 53 presenta la comparación índice de vacíos con agregados de origen natural con 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 9.482%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación con valores de 10.521, 9.884 y 9.614 respectivamente. Evidenciando que la incorporación de RAP y Fibra de caña de azúcar mantienen considerablemente los vacíos en agregados minerales respecto a la mezcla tradicional.

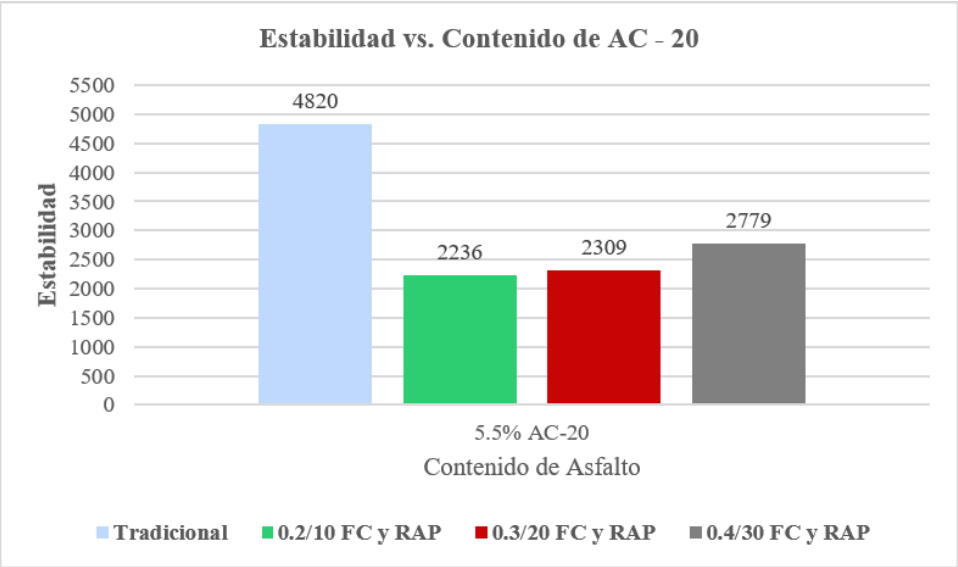


Fig. 54 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 54 presenta la comparación estabilidad con 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 4828 lb, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una disminución con valores de 2236,2309 y 2779 respectivamente. Evidenciando a mayor cantidad de RAP y Fibra de caña de azúcar incrementa ligeramente la estabilidad.

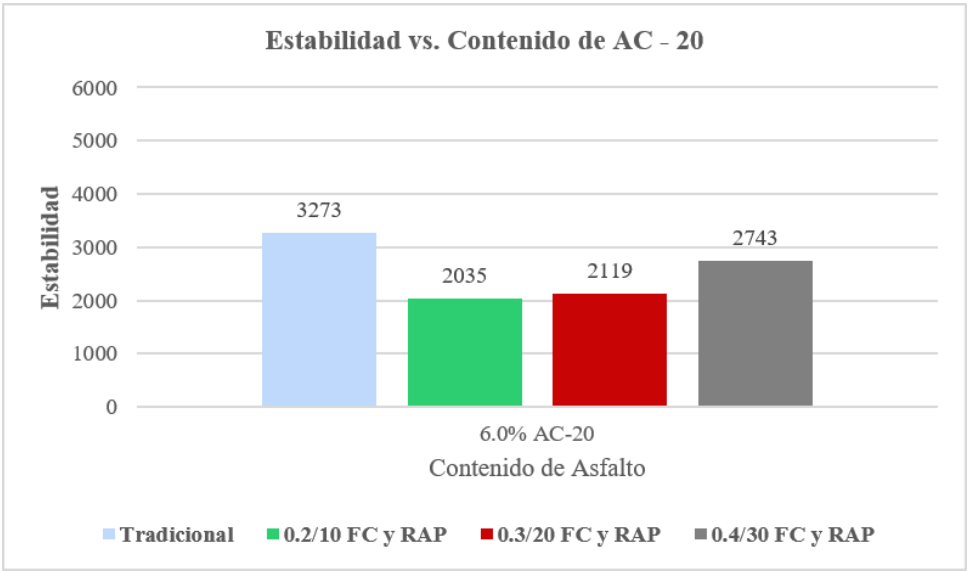


Fig. 55 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: La Fig. 55 presenta la comparación estabilidad con 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 3273 lb, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una disminución con valores de 2035, 2119 y 2743 lb respectivamente.

Evidenciando a mayor cantidad de RAP y Fibra de caña de azúcar incrementa ligeramente la estabilidad.

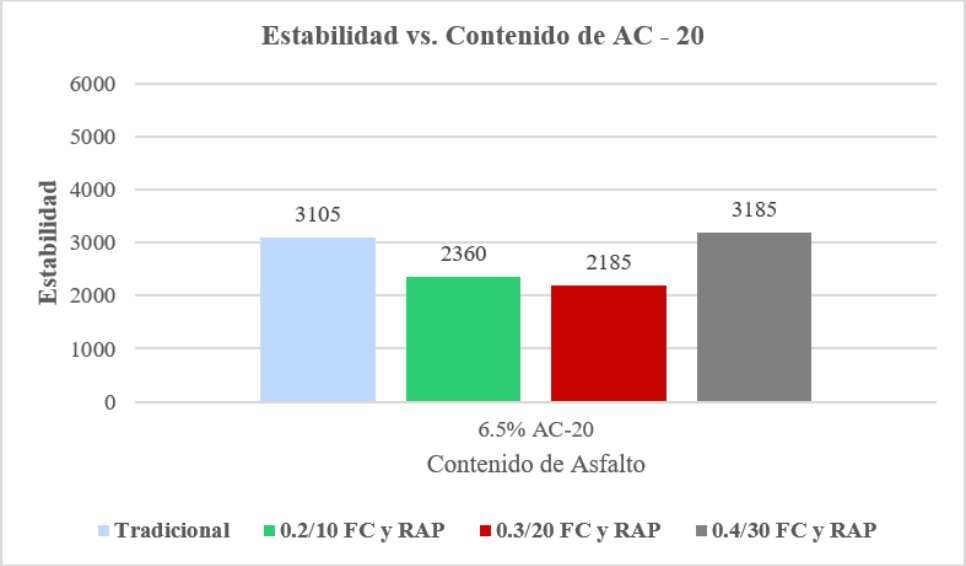


Fig. 56 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 56 presenta la comparación estabilidad con 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 3105 lb, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación con valores de 2360,2185 y 3185 lb respectivamente. Evidenciando a mayor cantidad de RAP y Fibra de caña de azúcar incrementa ligeramente la estabilidad, siendo la última combinación la única que mejora su estabilidad ligeramente.

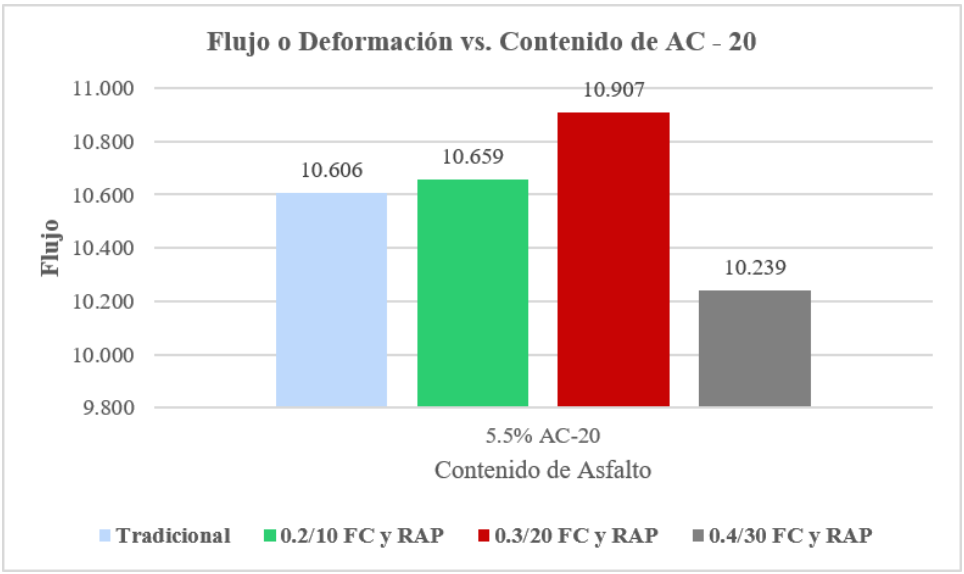


Fig. 57 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 57 presenta la comparación flujo o deformación con 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 10.606 pul/100, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación con valores de 2035, 2119 y 2743 pul/100 respectivamente. Determinando que las mezclas asfálticas modificadas no se encuentran dentro del rango de 8.00 a 14.00 pul/100 establecido en norma MOP-001-F 2002.

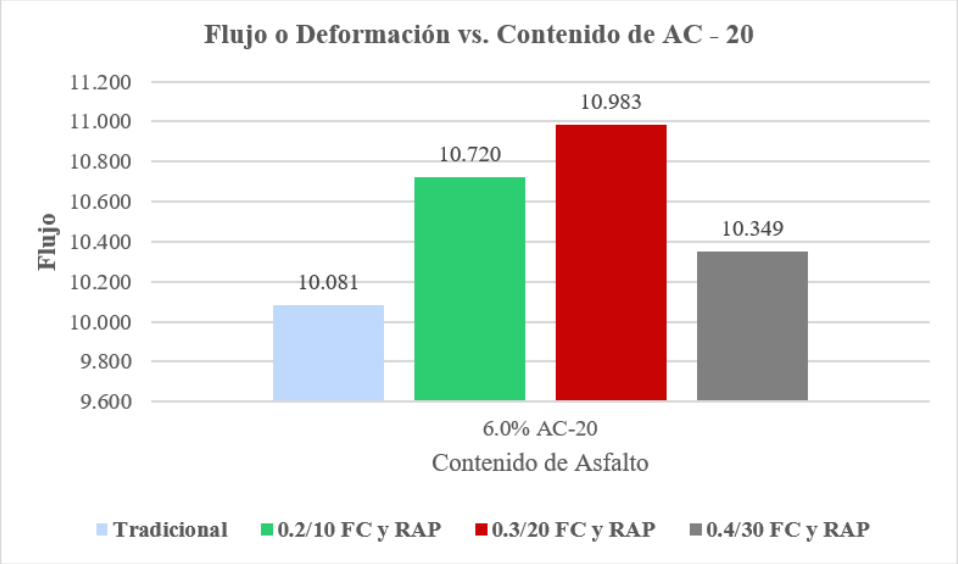


Fig. 58 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: La Fig. 58 presenta la comparación flujo o deformación con 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 10.081 pul/100, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen un incremento con valores de 10.720, 10.983 y 10.349 pul/100 respectivamente. Determinando que todas las mezclas asfálticas modificadas se encuentran dentro del rango de 8.00 a 14.00 pul/100 establecido en norma MOP-001-F 2002.

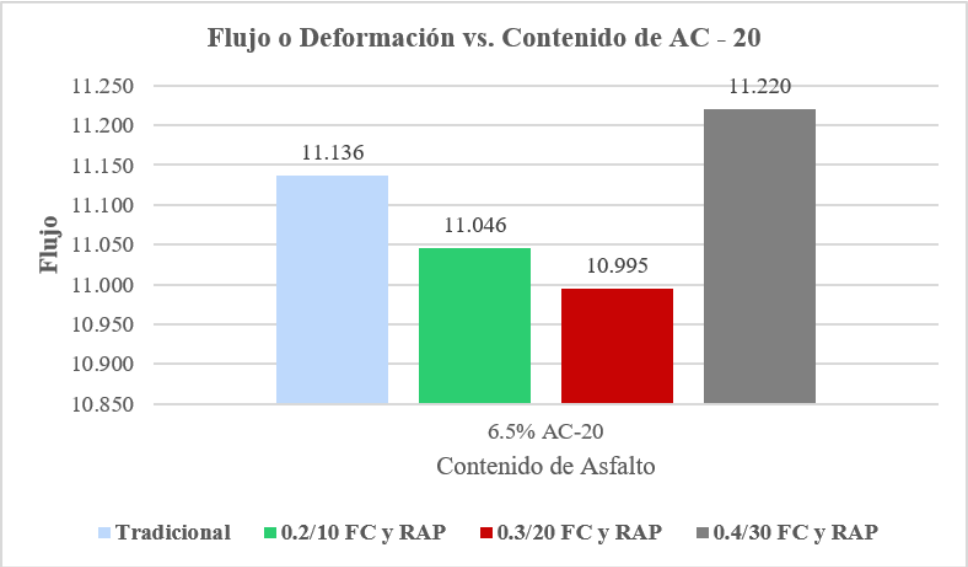


Fig. 59 Comparación de resultados – Flujo o Deformación vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 59 presenta la comparación flujo o deformación con 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 11.136 pul/100, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación con valores de 11.046, 10.995 y 11.220 pul/100 respectivamente. Determinando que las mezclas asfálticas modificadas se encuentran dentro del rango de 8.00 a 14.00 pul/100 establecido en norma MOP-001-F 2002.

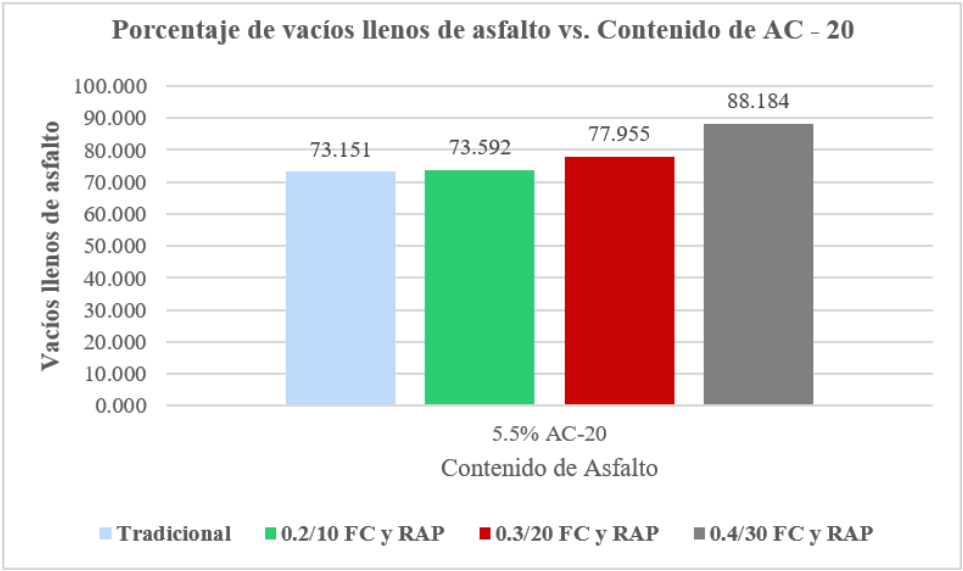


Fig. 60 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 60 presenta la comparación porcentaje de vacíos llenos de asfalto con 5.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 73.151 %, mientras que las mezclas asfálticas

modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen un incremento con valores de 73.592, 77.955 y 88.184 % respectivamente. Determinando que la mezcla tradicional y la primera mezcla asfáltica modificada cumplen con el criterio admisible para el ensayo Marshall.

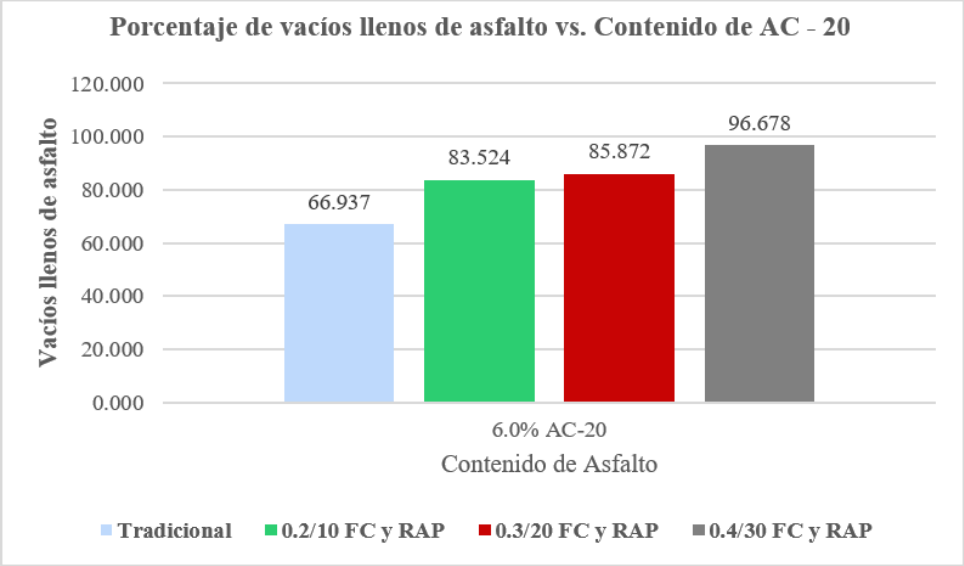


Fig. 61 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: La Fig. 61 presenta la comparación porcentaje de vacíos llenos de asfalto con 6.0% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 66.937 %, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen un incremento con valores de 83.524, 85.872 y 96.678 % respectivamente. Determinando que la mezcla tradicional cumple el criterio y las mezclas asfálticas modificadas no cumplen con el criterio admisible para el ensayo Marshall.

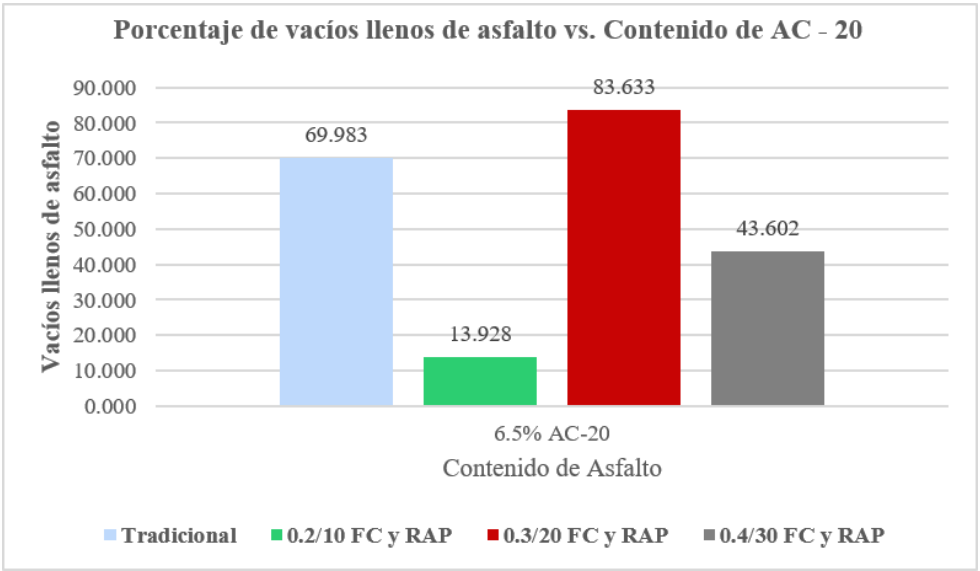


Fig. 62 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La Fig. 62 presenta la comparación porcentaje de vacíos llenos de asfalto con 6.5% de AC-20 entre la mezcla tradicional y las tres mezclas modificadas, evidenciando que la mezcla tradicional presenta el valor de 69.983%, mientras que las mezclas asfálticas modificadas 0.2/10, 0.3/20 y 0.4/30 tienen una variación con valores de 13.928, 83.633, 43.602 % respectivamente. Determinando que la mezcla tradicional cumple el criterio y las mezclas asfálticas modificadas no cumplen con el criterio admisible para el ensayo Marshall.

b) Comparación de los resultados económicos entre la Mezcla asfáltica Tradicional

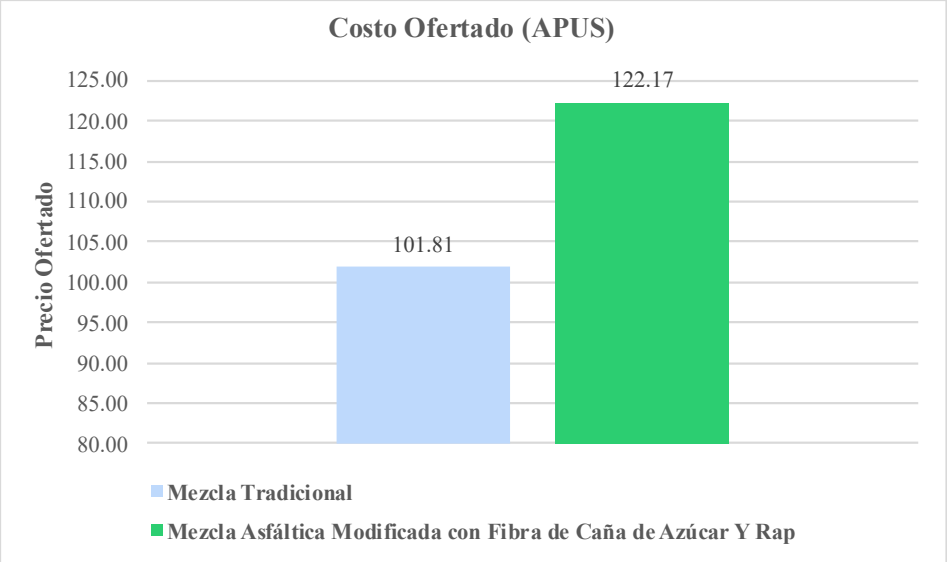


Fig. 63 Comparación de los resultados económicos – Mezclas asfálticas tradicional - modificada

Interpretación: La Fig. 63 presenta el análisis económico en base a una comparación económica que evidencia que la mezcla tradicional con un costo de $101.81 y la mezcla modificada con un costo de $122.36. considerando que la mezcla asfáltica modificada no supera el desempeño mecánico de la mezcla tradicional, se limita su viabilidad como alternativa sostenible y económica.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La implementación de la fibra de caña de azúcar como aditivo natural y pavimento asfaltico reciclado mejorara el comportamiento mecánico y el desempeño del pavimento asfaltico, promoviendo el aprovechamiento de residuos agroindustriales como alternativa para la construcción vial.

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

TABLA XXXIV
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 5.5% DE AC - 20

Criterios Marshall	Mezcla Tradicional 5.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.2 FC y 10% RAP 5.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.3 FC y 20% RAP 5.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.4 FC y 30% RAP 5.5% AC – 20	Rango
Índice de vacíos con aire	4.45	2.25	1.94	1.35	3%-5%
Verificación	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	4820	2236	2309	2779	≥ 1800 lb
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	10.61	10.66	10.91	10.24	8-14 pulg/100
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	73.15	73.59	77.95	88.18	65%-75%
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	

TABLA XXXV
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.0% DE AC - 20

Criterios Marshall	Mezcla Tradicional 6.0% AC – 20	Mezcla Modificada 0.2 FC y 10% RAP 6.0% AC – 20	Mezcla Modificada 0.3 FC y 20% RAP 6.0% AC – 20	Mezcla Modificada 0.4 FC y 30% RAP 6.0% AC – 20	Rango
Índice de vacíos con aire	2.85	9.33	9.41	0.31	3%-5%
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	3273	2035	2119	2743	≥ 1800 lb
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	10.08	10.72	10.98	10.35	8-14 pulg/100
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	66.94	83.52	85.87	96.68	65%-75%
Verificación	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	

TABLA XXXVI
VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.5% DE AC - 20

Criterios Marshall	Mezcla Tradicional 6.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.2 FC y 10% RAP 6.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.3 FC y 20% RAP 6.5% AC – 20	Mezcla Modificada 0.4 FC y 30% RAP 6.5% AC – 20	Rango
Índice de vacíos con aire	2.85	9.06	1.62	5.42	3%-5%
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	3105	2360	2185	3185	≥ 1800 lb
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	11.14	11.05	10.99	11.22	8-14 pulg/100
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	69.98	13.93	83.63	43.60	65%-75%
Verificación	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	

El análisis comparativo de las tablas XXXV, XXXVI y XXXVII de los criterios Marshall para los tres porcentajes de AC-20 demuestra que en general la mezcla asfáltica tradicional tiene

un mejor desempeño respecto a las mezclas asfálticas modificadas con fibra de caña de azúcar y RAP. Todas las mezclas modificadas a excepción de la mezcla modificada con 0.2 FC y 10% RAP con contenido de 5.5% AC – 20 que cumple en los porcentajes de vacíos llenos de aire, presentan un comportamiento similar cumpliendo en cuanto a la estabilidad y el flujo o deformación, pero fallan en el índice de vacíos de aire y en los porcentajes de vacíos llenos de aire.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- Las briquetas asfálticas modificadas utilizando fibra de caña de azúcar y pavimento asfaltico reciclado presentaron un comportamiento ineficiente en cuanto a las propiedades de los parámetro de índice de vacíos llenos de aire y porcentaje de vacíos de llenos de asfalto, mientras que en parámetros de estabilidad y flujo demostraron tener excelentes características evidenciando que la mezcla asfáltica modificada con caña de azúcar y pavimento asfaltico reciclado no es apta para obtener una mejora frente a las mezclas asfálticas tradicionales.

- Los materiales pétreos y el material fibroso de origen natural utilizados fueron extraídos, en el caso de la fibra se tomó muestras de 5000.0 g de caña de azúcar se obtuvo en el cantón Baños De Agua Santa, Provincia de Tungurahua en la zona de comercialización de jugo de caña, el asfalto reciclado se recolecto 40000.0 g de RAP fue obtenido de la Av. Pedro Fermín Cevallos coincidiendo con una intervención durante este periodo de análisis, y el agregados pétreos 200000 g de agregado 3/4", 200000 g de agregados 3/8” y 200000 g de agregado fino de la Mina Ambato-MTOP ubicado en la parroquia Izamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

- Se elaboro un total de 36 briquetas, para su fabricación se realizó los respectivos ensayos de caracterización mediante los ensayos de granulometría para los agregados determinando que los agregados gruesos son de tipo (GW) gravas bien graduadas, en los agregados finos se determinó que son tipo (SW) arenas bien graduadas. En el ensayo de abrasión se obtuvo un promedio de 27.43% presentando una muy buena resistencia al desgaste. El ensayo Marshall se realizó con tre briquetas por cada dosificación para las briquetas Tradicionales con cemento asfaltico AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%, para las briquetas modificadas con cemento asfaltico AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%, 0.2% FC-10% RAP, 0.3% FC-

20% RAP, 0.4% FC-30% RAP respectivamente, mediante los ensayos de evaluación del método Marshall se evaluó criterios de determinando que las briquetas tradicionales con 5.5% de AC-20 cumplen los parámetros de índice de vacíos llenos de aire, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto, las briquetas tradicionales con 6.0% de AC-20 no cumple el parámetro de índice de vacíos llenos de aire y cumple los parámetros estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto, las briquetas tradicionales con 6.5% de AC-20 no cumple el parámetro de índice de vacíos llenos de aire y cumple los parámetros estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto, la briquetas asfálticas modificadas, ninguna cumple el parámetro de índice de vacíos llenos de aire, todas cumplen con la estabilidad y flujo, y solo las briquetas modificadas con 0.2%-FC/10% RAP cumple con porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

- La realización del ensayo RICE en las mezclas tradicionales con cemento asfaltico AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%, para las briquetas modificadas con cemento asfaltico AC-20 en porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5%, 0.2% FC/10% RAP, 0.3% FC/20% RAP, 0.4% FC/30% RAP respectivamente, verificando que la mezcla tradicional con 5.5% no cumple el parámetro, y la mezcla con 6.0% y 6.5% si cumple el parámetro, las mezclas modificadas con, 6.0% AC-20 y 0.3% FC-20% RAP, 5.5% y 6.0 % AC-20 y 0.4% FC-30% RAP no cumplen el parámetro. mientras que las mezclas 5.5% 6.0% y 6.5% AC-20 y 0.2% FC-10% RAP, 5.5% y 6.5% AC-20 y 0.3% FC-20% RAP, 6.5% AC-20 y 0.4% FC-30% RAP, cumplen con el parámetro.

- Mediante los datos obtenidos de los ensayos de evaluación de las propiedades mecánicas de las briquetas de asfalto resultan ser un 20% más económicas además de tener un mejor comportamiento a comparación de las briquetas modificadas en general determinando que la mejor opción de aplicación son las briquetas tradicionales.

II. RECOMENDACIONES

- Se considera pertinente tomar muestras de RAP proveniente de diferentes vías, con diferentes grados de envejecimiento y evaluar sus propiedades mecánicas para determinar su factibilidad de ser incorporado en una mezcla asfáltica, en base a la obtención de agregados y materiales que formaran parte de los análisis se recomienda analizar las fuentes de obtención más cercanas al área de estudio que permitan reducir costos de transporte y un suministro adecuado.

- En función de los resultados obtenidos se recomienda mantener las dosificaciones de las mezclas asfálticas tradicionales con 5.5% de AC-20 debido a que es la única mezcla asfáltica que cumple correctamente los parámetros de índice de vacíos llenos de aire, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.
- Se sugiere la aplicación de las mezclas asfálticas tradicionales en proyectos en proyectos que requieran grandes volúmenes ya que estas mezclas son una excelente opción, con un buen comportamiento mecánico y económicas a comparación de mezclas asfálticas modificadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] B. A. P. Villa, Caracterización de una mezcla asfáltica con adición de fibra natural de caña de azúcar., Quito: UCE, 2024.

[2] J. A. Barreiro-Cobeña y H. L. Murillo-Zambrano, «Estimación de la generación de energía calórica a partir del bagazo de caña de azúcar mediante simulación,» *Polo del Conocimiento,* vol. 6, nº 1, pp. 4-8, 2021.

[3] J. M. Mora, «Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana,» *Perfiles,* vol. 1, nº 1-5, p. 20, 2024.

[4] N. Caspa, «Historia de las carreteras del ecuador, 1930 - 1960: infraestructura y políticas de transportes,» *Asociación Uruguaya de Historia Económica,* vol. 1, pp. 12-16, 2022.

[5] T. Corrales, Propuesta de deseño de mezclas asfálticas en caliente como capa de alivio, QUITO, 2015.

[6] G. C. V. Manuel y M. I. Zambrano Meza, «Evaluación de deterioros de los pavimentos en vías principales de acceso a Portoviejo mediante el método de índice de condición del pavimento “PCI”,» *Ingeniar,* vol. 8, nº 1, pp. 1-8, 2025.

[7] M. P. B. Ariel, Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas asfálticas incluyendo fibra de gabazo de caña de azúcar, mediante metodología Marshall, La Libertad, 2024.

[8] d. d. a. Pavimentos, Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación, 2016.

[9] O. M. D. L. S. Salud, «Paquete de medidas técnicas de seguridad vial,» *Salve Vidas,* vol. 1, pp. 9-15, 2017.

[10] F. Hidalgo, Estudios de prefactibilidad, factibilidad y diseño definitivo para la solución vial, peatonal y paradas de transporte público en la av. Mariscal antonio josé de sucre y san fernando de rumihurco, en la parroquia de cotocollao y ponceano., Quito: EPMMOP, 2023.

[11] J. A. Ibarra, Reciclado de pavimentos asfálticos en caliente, MEXICO, 2021.

[12] M. P. R. Ojeda, L. E. Sanabria y J. L. Carreño Gomez, «Modelos de reciclaje en pavimentos asfálticos,» *Asfaltos pavimentos,* vol. 27, nº 0123, pp. 28-35, 2023.

[13] O. J. Adrianzen Flores, J. . J. Azula Vasquez, C. . F. Pacherres Sánchez , E. D. Rodríguez Lafitte y S. P. Muñoz Pérez , «Uso de distintos tipos de fibras para mejorar

las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica,» *Revista Infraestructura Via,* vol. 24 , nº 43, pp. 2-15, 2022.

[14] M. J. Espinoza Carvajal y D. E. Acevedo Franco, Influencia de Partículas y Fibras de Caña en las Características de Materiales con Conglomerantes Minerales para Construcción, Barcelona: Universidad Uolitecnica de Cataluña, 2025.

[15] J. M. Álvarez Lema y P. H. Ortega Vázquez , Evaluación técnica y económica del uso de material fresado reciclado en el recapeo asfáltico en la calle juan montalvo desde la calle Emilio Abad hasta la calle cacha, en la ciudad de azogues, Cuenca, 2024.

[16] D. C. Ganchozo Bravo y L. K. Rodriguez De La Cruz, Valuación del comportamiento de mezclas asfálticas incorporando cemento como filler, mediante la metodología de Marshall, La Libertad, 2022.

[17] M. . E. Gutiérrez Cortez , Evaluación de la estructura y pavimento reciclado aplicado en el mejoramiento de la vía cooperativa Monte Sinaí - Guayaquil, Guayaquil, 2024.

[18] C. D. Cerón Pilamunga y J. R. Reinoso Casa , Efecto del taladrado para la extracción de núcleos en la pérdida de ligante, evaluada en pavimentos asfálticos de mezclas en frío, Quito, 2023.

[19] A. C. 2. 2. -. 97, Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos.

[20] M. -. 0.-F. 2002, ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCION DE CAMINOS Y PUENTES, 2002.

[21] Joseph Bowles, Sistema de Clasificación AASHTO, 1929.

[22] A. C136-01, Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulometrico de los áridos y gruesos.

[23] A. C. 1. -. 01, Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles.

[24] I. 856, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 856, Quito, 2010.

[25] A. C127-15, Método estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción de agregado grueso.

[26] A. D. 2. y. A. T. 164, EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTO.

[27] R. G. Piñas Astete, Implementación De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Celulosa Reciclada De Papel Para Mitigar El Ahuellamiento Prematuro En Pavimentos Drenantes Huancayo 2023, HUANCAYO, 2023.

[28] A. D. 1. y. A. T. 225, Diseño De Mezclas Método Marshall E Interpretación De Resultados.

[29] A. D. 2041-00, Método estándar de prueba para Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.

ANEXOS

a) Anexo 1. Resultados del ensayo de pesos unitarios:

TABLA XXXVII
PESOS UNITARIOS CON AGREGADO DE LA PLANTA MINA AMBATO-MTOP

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: PESOS UNITARIOS

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C29-97

Agregados que pasan el tamiz 3/4

Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	37480	37180	37240	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	28.9			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	20564.62			cm^3
Peso Unitario	1.338	1.324	1.327	gr/cm^3
Peso Unitario Promedio	**1.329**			gr/cm^3

Agregados que pasan el tamiz 3/8

Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	36340	35980	36120	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	29.7			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	21133.88			cm^3
Peso Unitario	1.248	1.231	1.238	gr/cm^3
Peso Unitario Promedio	**1.239**			gr/cm^3

Agregados que pasan el tamiz #4

Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	38520	38400	38480	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	28.9			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	20564.62			cm^3
Peso Unitario	1.389	1.383	1.387	gr/cm^3
Peso Unitario Promedio	**1.386**			gr/cm^3

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"				
ENSAYO: PESOS UNITARIOS				
Origen:	Ferreteria Frevi			
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina			
Fecha:	jun-26			
Norma:	ASTM C29-97			
Agregados que pasan el tamiz 3/4				
Descripción	**Peso 1**	**Peso 2**	**Peso 3**	**Unidad**
Peso de la muestra	37480	37180	37240	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	28.9			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	20564.62			cm3
Peso Unitario	1.338	1.324	1.327	gr/cm3
Peso Unitario Promedio	**1.329**			gr/cm3
Agregados que pasan el tamiz 3/8				
Descripción	**Peso 1**	**Peso 2**	**Peso 3**	**Unidad**
Peso de la muestra	36340	35980	36120	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	29.7			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	21133.88			cm3
Peso Unitario	1.248	1.231	1.238	gr/cm3
Peso Unitario Promedio	**1.239**			gr/cm3
Agregados que pasan el tamiz #4				
Descripción	**Peso 1**	**Peso 2**	**Peso 3**	**Unidad**
Peso de la muestra	38520	38400	38480	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	28.9			gr
Diámetro interno	30.1			gr
Volumen del molde	20564.62			cm3
Peso Unitario	1.389	1.383	1.387	gr/cm3
Peso Unitario Promedio	**1.386**			gr/cm3

Anexo 2. Resultados del ensayo granulométrico de los agregados pétreos:

TABLA XXXVIII
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA PLANTA MINA AMBATO-MTOP

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: GRANULOMETRÍA AGREGADOS PÉTREOS

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C 136 - INEN 696

Tamaño del Tamiz		3/4"	3/8''	Arena	Tolva 1	Tolva 2	Tolva 3
Tamiz	Tamiz (mm)						
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.00	211.40	0.00	0.00	2.59	0.00	0.00
1/2"	12.70	4001.00	0.00	0.00	48.96	0.00	0.00
3/8"	9.50	5947.60	0.00	0.00	72.77	0.00	0.00
No. 4	4.75	8036.90	2624.50	0.00	98.34	79.39	0.00
No. 8	2.36	8168.57	3300.30	98.29	99.95	99.83	17.55
No. 16	1.18	8171.07	3303.70	237.79	99.98	99.94	42.45
No.30	0.60	8172.60	3305.83	371.17	100.00	100.00	66.26
No. 50	0.300	8172.60	3305.83	445.37	100.00	100.00	79.50
No. 100	0.150	8172.60	3305.83	493.97	100.00	100.00	88.18
No. 200	0.075	8172.60	3305.83	560.20	100.00	100.00	100.00
Pasa No. 200		0.00	0.00	0.00	Porcentaje que pasa		
TOTAL		8172.60	3305.83	560.20	100.00		

b) Anexo 3. Resultados del ensayo granulométrico del RAP:

TABLA XXXIX
GRANULOMETRÍA DEL PAVIMENTOS ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: GRANULOMETRÍA AGREGADOS PÉTREOS

Origen:		Mina Ambato-MTOP				
Ensayado por:		Jonathan Valentin Yanza Guanina				
Fecha:		jun-26				
Norma:		INEN 696				
Constante de bache		1740	1550			
Tamaño de agregado		**3/4''**	**3/8''**	**Arena**		
% cada tolva		10.9	53.2	35.9	**100.0**	
		% Pasa #1	**% Pasa #2**	**% Pasa #3**	**% Pasa Total**	**Límites MOP-001-F**
Tamiz	**Tamiz (mm)**	190	925	625	**1740**	
1"	25.400	10.92	53.16	35.92	100.0	--
3/4"	19.000	10.64	53.16	35.92	99.7	100
1/2"	12.700	5.57	53.16	35.92	94.7	90 – 100
3/8"	9.500	2.97	53.16	35.92	92.1	--
No. 4	4.750	0.18	10.96	35.92	47.1	44 – 77
No. 8	2.360	0.01	0.09	29.62	29.7	28 – 58
No. 50	0.300	0.00	0.03	20.67	20.7	5 – 21
No. 200	0.075	0.00	0.00	0.00	0.0	2 – 10

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA	
D10 mm	0.08
D30 mm	0.90
D60 mm	5.20
Cu	63.41
Cc	1.90

c) Anexo 4. Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino:

TABLA XL
GRANULOMETRÍA CON EL AGREGADO FINO

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: GRANULOMETRÍA

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C 136

Tamaño del Tamiz		**Peso retenido (gr)**	**Peso ret/acum (gr)**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**	**Límites MOP-001-F 2002**
Tamiz	**Tamiz (mm)**					N° 4
No. 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100
No. 8	2.36	148.20	148.20	15.12	84.88	65 – 100
No. 16	1.18	157.30	305.50	31.16	68.84	40 - 80
No. 30	0.600	141.60	447.10	45.60	54.40	25 - 65
No. 50	0.300	210.30	657.40	67.05	32.95	7 – 40
No. 100	0.150	140.90	798.30	81.43	18.57	3 - 20
No. 200	0.075	182.10	980.40	100.00	0.00	2 – 10
TOTAL		980.40				

MÓDULO DE FINURA		3.40		
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y		PORCENTAJE DE MATERIAL		
D10 mm	0.15	% GRAVA	% ARENA	% LIMO Y ARCILLA
D30 mm	0.42			
D60 mm	1.1	0.00	81	19
Cu	7.33	Arenas limpias $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$		
Cc	1.07	Menos de 5% finos $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$		

d) Anexo 5. Resultados del ensayo contenido de humedad del agregado fino:

TABLA XLI
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2974

Agregados que pasan el tamiz #4

Descripción	Peso	Unidad
Peso muestra húmeda	500.00	gr
Peso muestra seca	481.86	gr
Peso Recipiente	43.45	gr
Peso agua	18.14	gr
Peso suelo seco	438.41	gr
Contenido de humedad	**4.14**	**%**

e) Anexo 6. Resultados del ensayo contenido de humedad de la fibra de caña de azúcar tratada:

TABLA XLII
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD

Origen:	Baños de Agua Santa
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2216

Fibra tratada y secada

Descripción	Peso	Unidad
Peso muestra húmeda	22.50	gr
Peso muestra seca	22.16	gr
Peso Recipiente	4.70	gr
Peso agua	0.34	gr
Peso suelo seco	17.46	gr
Contenido de humedad	**1.95**	**%**

f) Anexo 7. Resultados del ensayo de abrasión:

TABLA XLIII
ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: ABRASIÓN

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C3535 - ASTM C131

Método B - Agregados 1/2 y 3/8

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso inicial de la muestra	5000	gr
Peso final retenido en el tamiz #12	3910.12	gr
Diferencia	1089.88	gr
Porcentaje de desgaste	**21.7976**	%

Método C - Agregados 1/4 y #4

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso inicial de la muestra	5000	gr
Peso final retenido en el tamiz #12	3628.5	gr
Diferencia	1371.5	gr
Porcentaje de desgaste	**27.43**	%

g) Anexo 8. Resultados del ensayo de gravedad específica agregados:

TABLA XLIV
GRAVEDAD O DENSIDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: DENSIDAD ESPECÍFICA	
Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C128

Gravedad Específica del agregado 3/4"		
Descripción	Peso	Unidad
Peso en aire de la muestra seca al horno	5123.20	g
Peso en aire de la muestra SSS	5244.50	g
Peso en agua de la muestra saturada	3222.30	g
Peso Específico Aparente	2.53	g/cm^3
Peso Específico Nominal	2.70	g/cm^3
Peso Específico Aparente Superficie Seca	**2.59**	g/cm^3
Porcentaje de absorción	2.37	%

Gravedad Específica del agregado 3/8"		
Descripción	Peso	Unidad
Peso en aire de la muestra seca al horno	5156.50	g
Peso en aire de la muestra SSS	5274.08	g
Peso en agua de la muestra saturada	3246.75	g
Peso Específico Aparente	2.54	g/cm^3
Peso Específico Nominal	2.70	g/cm^3
Peso Específico Aparente Superficie Seca	**2.60**	g/cm^3
Porcentaje de absorción	2.28	%

Gravedad Específica del agregado fino Arena		
Descripción	Peso	Unidad
Peso picnómetro	163.00	g
Peso aire de la muestra	250.00	g
Peso picnómetro aforado lleno de agua	661.00	g
Peso picnómetro aforado + muestra y agua	800.25	g
Peso en aire de la muestra SSS	254.17	g
Peso Específico Aparente	2.18	g/cm^3
Peso Específico Nominal	2.26	g/cm^3
Peso Específico Aparente Superficie Seca	**2.21**	g/cm^3
Porcentaje de absorción	1.67	%

h) Anexo 9. Resultados del ensayo centrifugado RAP:

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: CONTENIDO DE ASFALTO

Origen:	Av. Pedro Fermín Cevallos - Cantón Cevallos - Provincia de Tungurahua
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM C128

Contenido de asfalto en pavimento asfáltico reciclado

Descripción	Peso	Unidad
Peso de olla	4378.9	g
Peso de olla llena	5378.9	g
Peso de olla llena después de la extracción	5336.6	g
Peso del filtro antes	31.1	g
Peso del filtro después	33.8	g
Peso de la muestra	1000.0	g
Peso muestra después	957.7	g
Peso tarro antes	25.4	g
peso tarro después	25.8	g
Total de gasolina ml	3500.0	ml
Residuo en 100 cm3 de gasolina	0.4	cm^3
Residuo en 2500 ml de gasolina	14.0	cm^3
Contenido de asfalto %	**3.10**	%

i) Anexo 10. Resultados del ensayo RICE

TABLA XLV
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: RICE - 5.5%, 6.0%, 6.5% - AC-20

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2041

Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2620.00	2616.00	2616.00	gr
Peso Tapa	4200.00	4187.00	4190.00	gr
Peso Olla+Tapa	6820.00	6803.00	6806.00	gr
Peso material	1460.00	1490.00	1500.00	gr
Peso olla+Tapa +material	8280.00	8293.00	8306.00	gr
Peso olla+agua	16165.00	16205.00	16228.00	gr
Peso olla+agua+tapa	20365.00	20392.00	20418.00	gr
Peso olla+agua+tapa+material	21152.00	21248.00	21277.00	gr
Volumen olla	13545.00	13589.00	13612.00	gr
Peso Agua	10925.00	10973.00	10996.00	gr
RICE	2.17	2.35	2.34	--

TABLA XLVI
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 10% RAP – 0.2% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: RICE - 5.5%, 6.0%, 6.5% - AC-20 - 10% RAP - 0.2%FIBRA

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2041

Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2625.00	2630.00	2628.00	gr
Peso Tapa	4190.00	4189.00	4189.00	gr
Peso Olla+Tapa	6815.00	6819.00	6817.00	gr
Peso material	1500.00	1500.00	1500.00	gr
Peso olla+material	8315.00	8319.00	8317.00	gr
Peso olla+agua	16247.00	16249.00	16183.00	gr
Peso olla+agua+tapa	20437.00	20438.00	20372.00	gr
Peso olla+agua+tapa+material	21292.00	21286.00	21265.00	gr
Volumen olla	13622.00	13619.00	13555.00	gr
Peso Agua	10997.00	10989.00	10927.00	gr
RICE	2.33	2.30	2.47	--

TABLA XLVII
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO: RICE - 5.5%, 6.0%, 6.5% - AC-20 - 20% RAP - 0.3%FIBRA

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2041

Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2627.90	2627.70	2626.90	gr
Peso Tapa	4190.10	4189.30	4191.10	gr
Peso Olla+Tapa	6818.00	6817.00	6818.00	gr
Peso material	1500.00	1500.00	1500.00	gr
Peso olla+material	8318.00	8317.00	8318.00	gr
Peso olla+agua	16248.90	16246.70	16245.90	gr
Peso olla+agua+tapa	20439.00	20436.00	20437.00	gr
Peso olla+agua+tapa+material	21290.00	21282.00	21285.00	gr
Volumen olla	13621.00	13619.00	13619.00	gr
Peso Agua	10993.10	10991.30	10992.10	gr
RICE	2.31	2.29	2.30	--

TABLA XLVIII
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 30% RAP – 0.4% DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS

ENSAYO: RICE - 5.5%, 6.0%, 6.5% - AC-20 - 30% RAP - 0.4%FIBRA

Origen:	Mina Ambato-MTOP
Ensayado por:	Jonathan Valentin Yanza Guanina
Fecha:	jun-26
Norma:	ASTM D 2041

Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2628.10	2626.90	2627.50	gr
Peso Tapa	4191.90	4194.10	4189.50	gr
Peso Olla+Tapa	6820.00	6821.00	6817.00	gr
Peso material	1500.00	1500.00	1505.00	gr
Peso olla+material	8320.00	8321.00	8322.00	gr
Peso olla+agua	16246.10	16241.90	16249.50	gr
Peso olla+agua+tapa	20438.00	20436.00	20439.00	gr
Peso olla+agua+tapa+material	21266.00	21276.00	21317.00	gr
Volumen olla	13618.00	13615.00	13622.00	gr
Peso Agua	10989.90	10988.10	10994.50	gr
RICE	2.23	2.27	2.40	--

j) Anexo 11. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas asfálticas tradicionales

TABLA XLIX
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO MARSHALL - MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Origen: Av. Pedro Fermín Cevallos - Cantón Cevallos — **Ensayado por:** Jonathan Valentin Yanza Guanina — **Fecha:** Junio-2026

Agregados 2.35

% de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico				Volumen % TOTAL						Estabilidad		Flujo		
			Seco en aire	SSS en aire	En agua	Bulk	Max teorico	Max medido	Asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire	Asfalto efectivo	Vacios en agregados	% de asfalto efectivo	Peso unitario	Medida	Corregida	0.01"	Factor	% vacios llenos de asfalto
A / B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
						=D/E-F			(I-H)*10^4 I*H(100-B)	(100-B)*G 2.348381701	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)) 100	62.4*G					
5.5	1	6.44	1115.60	1116.10	574.3	2.059										2911	2847	10.6496	0.978	
	2	5.50	1012.30	1013.10	535.4	2.119										5347	6822	10.0433	1.276	
	3	6.29	1058.60	1059.10	540.2	2.040										4722	4792	11.126	1.015	
						2.073	2.189	2.169	-0.445	83.409	4.455	12.137	16.591	5.921	129.340		4820	10.61		73.1512
6.0	1	6.43	1138.10	1137.80	637.2	2.273										2961	2902	10.378	0.98	
	2	6.27	1082.60	1083.20	612.62	2.301										3412	3480	10.0669	1.02	
	3	6.19	1037.10	1037.50	581.8	2.276										3304	3437	9.79921	1.04	
						2.283	2.176	2.350	3.623	91.395	2.845	5.760	8.605	2.594	142.477		3273	10.08		66.9375
6.5	1	5.89	1019.50	1021.00	572.12	2.271										2382	2702	10.5748	1.134	
	2	6.01	1000.09	1002.10	562.7	2.276				2.426						2606	2856	11.9567	1.096	
	3	5.96	1027.50	1030.20	578.2	2.273										3379	3758	10.878	1.112	
						2.273	2.163	2.340	3.748	90.518	2.846	6.636	9.482	2.996	141.866		3105	11.14		69.9829

k) Anexo 12. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas Asfálticas Modificadas

TABLA L
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 10% RAP – 0.2% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO MARSHALL - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 10% RAP – 0.2% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

Origen: Av. Pedro Fermín Cevallos - Cantón Cevallos — **Ensayado por:** Jonathan Valentin Yanza Guanina — **Fecha:** Junio-2026

Gagregados 2.35

% de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico				Volumen % TOTAL						Estabilidad		Flujo		
			Seco en aire	SSS en aire	En agua	Bulk	Max teorico	Max medido	Asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire	Asfalto efectivo	Vacios en agregados	% de asfalto efectivo	Peso unitario	Medida	Corregida	0.01"	Factor	% vacios llenos de asfalto
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
						=D/E-F			(I-H)*10^4 I*H(100-B)	(100-B)*G 2.348381701	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)) 100	62.4*G					
5.5	1	6.52	1112.6	1116.1	625.4	2.267										3379	3237	10.4843	0.958	
	2	6.07	1015.6	1018.7	571.8	2.273										1685	1816	11.1614	1.078	
	3	6.78	1157.9	1160.2	652.3	2.280										1834	1656	10.3307	0.903	
						2.273	2.189	2.326	2.831	91.476	2.251	6.273	8.524	2.825	141.850		2236	10.66		73.5922
6.0	1	6.14	1016.3	1019.1	571.7	2.272										1933	2041	10.5079	1.056	
	2	6.83	1128.8	1132.4	631.62	2.254										2154	1917	11.0197	0.89	
	3	6.25	1006.8	1009.2	565.7	2.270										2094	2146	10.6339	1.025	
						2.265	2.176	2.301	2.649	90.673	1.537	7.790	9.327	3.510	141.352		2035	10.72		83.5240
6.5	1	6.15	1002.5	1006.5	563.15	2.261										1907	2009	10.378	1.053	
	2	6.29	1054.5	1057.5	592.6	2.268				2.426						2409	2445	11.4409	1.015	
	3	6.25	1059.9	1062.9	583.9	2.213										2561	2625	11.3189	1.025	
						2.247	2.163	2.471	6.172	89.479	9.056	1.465	10.521	0.729	140.237		2360	11.05		13.9275

TABLA LI
RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO MARSHALL - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

Origen: Av. Pedro Fermín Cevallos - Cantón Cevallos — **Ensayado por:** Jonathan Valentin Yanza Guanina — **Fecha:** Junio-2026

Gagregados 2.35

% de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico				Volumen % TOTAL						Estabilidad		Flujo		
			Seco en aire	SSS en aire	En agua	Bulk	Max teorico	Max medido	Asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire	Asfalto efectivo	Vacios en agregados	% de asfalto efectivo	Peso unitario	Medida	Corregida	0.01"	Factor	% vacios llenos de asfalto
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
						=D/E-F			(I-H)*10^4 I*H(100-B)	(100-B)*G 2.348381701	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)) 100	62.4*G					
5.5	1	6.06	1036.6	1040.1	581.8	2.262										1908	2062	11.5906	1.081	
	2	6.18	1036.2	1039.4	582.4	2.267										2040	2127	10.3898	1.043	
	3	5.94	1000.4	1003.4	562.7	2.270										2448	2736	10.7402	1.118	
						2.266	2.189	2.311	2.549	91.202	1.940	6.859	8.798	3.091	141.425		2309	10.91		77.9547
6.0	1	6.82	1130	1137.5	636.2	2.254										2168	1936	10.6063	0.893	
	2	6.20	1052.8	1055.5	592.4	2.273										2274	2360	11.122	1.038	
	3	6.48	1097.6	1100.9	615.6	2.262										2128	2060	11.2205	0.968	
						2.263	2.176	2.294	2.507	90.585	1.330	8.085	9.415	3.644	141.216		2119	10.98		85.8715
6.5	1	6.11	1055.8	1060.1	590.9	2.250										2590	2759	11.2835	1.065	
	2	6.28	1061.1	1063.7	595.8	2.268				2.426						2479	2523	10.6654	1.018	
	3	6.18	1000.9	1003.1	562.6	2.272										1220	1273	11.0354	1.043	
						2.263	2.163	2.301	2.964	90.116	1.618	8.266	9.884	3.729	141.236		2185	10.99		83.6334

TABLA LII

RESULTADO RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 30% RAP – 0.4% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

ENSAYO MARSHALL - MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA – 20% RAP – 0.3% DE FIBRA DE CAÑA DE AZUCAR

Origen: Av. Pedro Fermín Cevallos - Cantón Cevallos — **Ensayado por:** Jonathan Valentin Yanza Guanina — **Fecha:** Junio-2026

Gagregados 2.3483817

% de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico				Volumen % TOTAL						Estabilidad		Flujo		
			Seco en aire	SSS en aire	En agua	Bulk	Max teorico	Max medido	Asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire	Asfalto efectivo	Vacios en agregados	% de asfalto efectivo	Peso unitario	Medida	Corregida	0.01"	Factor	% vacios llenos de asfalto
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
							=D/E-F			(I-H)*10^4 I*H(100-B)	(100-B)*G 2.348381701	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)) 100	62.4*G					
5.5	1	5.85	1022.4	1025.3	554.3	2.171											2619	3004	10.2559	1.147	
	2	5.62	952.3	954.6	525.4	2.219											2425	2978	10.4528	1.228	
	3	5.58	959.9	963.2	530.2	2.217											1896	2357	10.0079	1.243	
						2.202	2.189	2.232	0.926	88.614	1.345	10.041	11.386	4.625	137.412		2779	10.24		88.1842
6.0	1	5.30	890.3	894.3	500.9	2.263											1470	2005	10.6457	1.364	
	2	6.09	1030.3	1034.4	578.9	2.262											2492	2669	10.2165	1.071	
	3	5.80	1015.4	1018.5	571.6	2.272											3058	3556	10.185	1.163	
						2.266	2.176	2.273	2.081	90.690	0.309	9.000	9.310	4.044	141.380		2743	10.35		96.6783
6.5	1	5.51	952.8	954.6	535.65	2.274											2476	3149	10.9252	1.272	
	2	6.11	1054.6	1056.9	592.7	2.272				2.426							3313	3528	11.1496	1.065	
	3	6.39	1092.8	1096.9	614.3	2.264											2907	2878	11.5866	0.99	
						2.270	2.163	2.400	4.895	90.386	5.422	4.192	9.614	1.924	141.659		3185	11.22		43.6022

l) Anexo 13. APU: Mezcla Asfáltica Tradicional en planta:

TABLA LIII
APU: MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

Rubro: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA					Unidad: m3
Detalle:					
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.11
Cargadora frontal	1.00	35.00	35.00	0.067	2.35
Planta asfáltica	1.00	169.48	169.48	0.067	11.36
SUBTOTAL M					13.82

MANO DE OBRA DESCRIPCION		CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
OPERADOR EQUIPO PESADO GRUPO 2	OP C2	1.00	4.64	4.64	0.067	0.31
ENGRASADOR O ABASTEC. RESPONS.	ST D2	1.00	4.39	4.39	0.067	0.29
LABORATORISTA: (EN CONSTRUCC.)	EO C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
MECANICO EQUIPO PESADO CAMINER	MM C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
OPERADOR EQUIPO PESADO GRUPO 1	OP C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
PEON	EO E2	2.00	4.34	8.68	0.067	0.58
SUBTOTAL N						2.17

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
Gasolina super industrial	gl	1.000	4.81	4.81
Aditivo para mezcla asfáltica en planta	Kg	0.057	1.66	0.09
Arena	m3	0.368	20.00	7.36
Aditivo multipropósito (adherencia)	kg	0.057	1.66	0.09
Asfalto AC-20	gl	28.524	1.39	39.65
Material triturado 3/4"	m3	0.152	20.00	3.04
Material triturado 1/2"	m3	0.150	20.00	3.00
Material triturado 3/8"	m3	0.644	20.00	12.88
Fibra de caña de azúcar	kg	10.000	1.00	10.00
Hormigón asfáltico reciclado con fresadora, incluye triturada, cargada y transporte	m3	1.000	4.90	4.90
SUBTOTAL O				85.82

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				0.00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		101.81
INDIRECTOS (%)	0.00%	0.00
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		101.81
VALOR UNITARIO		101.81

m) Anexo 14. APU: Mezcla Asfáltica Modificada en planta:

TABLA LIV
APU: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN PLANTA

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

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR CON ASFALTO RECICLADO"

Rubro: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA MODIFICADA				Unidad: m3	
Detalle:					
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.11
Cargadora frontal	1.00	35.00	35.00	0.067	2.35
Planta asfáltica	1.00	169.48	169.48	0.067	11.36
SUBTOTAL M					13.82

MANO DE OBRA DESCRIPCION		CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
OPERADOR EQUIPO PESADO GRUPO 2	OP C2	1.00	4.64	4.64	0.067	0.31
ENGRASADOR O ABASTEC. RESPONS.	ST D2	1.00	4.39	4.39	0.067	0.29
LABORATORISTA: (EN CONSTRUCC.)	EO C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
MECANICO EQUIPO PESADO CAMINER	MM C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
OPERADOR EQUIPO PESADO GRUPO 1	OP C1	1.00	4.87	4.87	0.067	0.33
PEON	EO E2	2.00	4.34	8.68	0.067	0.58
SUBTOTAL N						2.17

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
Gasolina super industrial	gl	1.000	4.81	4.81
Aditivo para mezcla asfáltica en planta	Kg	0.057	1.66	0.09
Arena	m3	0.368	20.00	7.36
Aditivo multipropósito (adherencia)	kg	0.057	1.66	0.09
Asfalto AC-20	gl	28.524	1.39	39.65
Material triturado 3/4"	m3	0.152	20.00	3.04
Material triturado 1/2"	m3	0.150	20.00	3.00
Material triturado 3/8"	m3	0.644	20.00	12.88
Fibra de caña de azúcar	kg	10.000	1.00	10.00
Hormigón asfáltico reciclado con fresadora, incluye triturada, cargada y transporte	m3	1.000	4.90	4.90
SUBTOTAL O				85.82

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				0.00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		101.81
INDIRECTOS (%)	20.00%	20.36
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		122.17
VALOR UNITARIO		122.17

n) Anexo 15. Anexos Fotográficos

<table>
<tr><th colspan="2">OBTENCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Agregado fino</td><td>Agregado grueso</td></tr>
<tr><th colspan="2">OBTENCIÓN DE PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO</th></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>Ubicación de las muestras de asfalto reciclado</td><td>Extracción de pavimento asfáltico</td></tr>
<tr><th colspan="2">OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Triturado de la fibra de cana de azucar</td><td>Lavado a 80 °C</td></tr>
</table>

	
Tratamiento de la fibra de caña de azúcar	Secado de la fibra de caña de azúcar
Ensayo Granulométrico	
	
Granulometría agregado grueso	Granulometría agregado grueso
	
Preparación de tamices	Granulometría agregado fino

<table>
<tr><td colspan="2">Ensayo de pesos unitarios</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Enrasado del material</td><td>Volumen del molde</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ensayo de Abrasión</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Pesaje del agregado antes de ensayar</td><td>Máquina de los ángeles</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Material ensayado</td><td>Material resultante tamizado</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Ensayo de Centrifugación</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Pesaje de la olla</td><td>Pesaje de la tapa</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Preparación del agregado</td><td>Colocación del ligante (gasolina super)</td></tr>
<tr><th colspan="2">Ensayo de pesos unitarios</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Enrasado del material</td><td>Volumen del molde</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Elaboración de Briquetas Marshall</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Pesaje de los agregados a incorporarse</td><td>Fibra de Caña de azúcar</td></tr>
<tr><th colspan="2">Ensayo Granulométrico</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Calentado de los materiales</td><td>Colocación del cemento asfáltico</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Mezclado de los agregados</td><td>Compactación de las briquetas</td></tr>
</table>

	
Briquetas realizadas	Medición de alturas de las briquetas
	
Pesaje de las Briquetas	Ensayo en la maquina Marshall