



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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO
RECICLADO”**

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

ESTUDIANTE:

ANA MICHELLE VITERI LASCANO

TUTOR:

Ing. JORGE JAVIER GUEVARA ROBALINO PhD.

Ambato – Ecuador

Enero / 2025

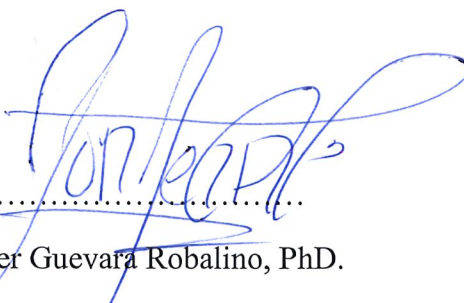
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”**, elaborado por la estudiante Ana Michelle Viteri Lascano, portadora de la cédula de ciudadanía número 1803592565, 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.
- Está concluido en su totalidad

Ambato, febrero 2025



Ing. Jorge Javier Guevara Robalino, PhD.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ana Michelle Viteri Lascano, con C.I. 1803592565 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



Ana Michelle Viteri Lascano

C.I. 1803592565

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, febrero 2025

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Viteri Lascano Ana Michelle', is written over a horizontal dotted line.

Viteri Lascano Ana Michelle

C.I. 1803592565

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante **Ana Michelle Viteri Lascano**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: "**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO**".

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:



.....
Ing. Diego Sebastián Cherez Gavilanes, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldas, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con un profundo amor y cariño, dedico este trabajo de titulación a mis padres, Ángel Viteri y Ana Lascano quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo a lo largo de este arduo camino académico.

Ana Michelle Viteri Lascano

AGRADECIMIENTO

Quiero manifestar mi profundo agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, Ángel Viteri y Ana Lascano por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante han sido la base de mi vida. También quiero agradecer a mis hermanos por ser un gran respaldo para mí. Su inspiración y sabiduría son invaluableles; los amo más de lo que las palabras pueden expresar.

Agradezco a mis amigos de la carrera que me han acompañado en los momentos difíciles donde han sido pilares fundamentales en mi crecimiento como persona y profesional.

Un especial agradecimiento a la Ingeniera Marisol Bayas y al Ingeniero Leo Rosero por su ayuda y guía en este trabajo, ya que sin sus conocimientos y apoyo esto no sería posible.

Por último, quiero reconocer a mis profesores y a la Universidad Técnica de Ambato por ser guías en este arduo camino académico. Este logro es un reflejo no solo de mi esfuerzo, sino de todos los que han formado parte de mi trayectoria.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
I. JUSTIFICACIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	2
III. OBJETIVOS.....	6
A. OBJETIVO GENERAL	6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	7
I. EQUIPOS Y MATERIALES	7
A. MATERIALES	7
II. MÉTODOS	8
1) Fase 1	9
2) Fase 2	11
a) Ensayo de Pesos Unitarios o Ensayo de densidad en el campo:	11
b) Ensayo Granulométrico:.....	12
c) Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión – Máquina de los Ángeles:	14
d) Ensayo de Gravedad Específica:	15
e) Ensayo de Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos:.....	18
f) Ensayo Método Marshall:	20
g) Ensayo Rice:.....	25

3) Fase 3.....	26
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	27
1) Fase 1	27
2) Fase 2	28
a) Resultado del Ensayo de Pesos Unitarios: Agregado Grueso y Fino:.....	29
b) Resultado del Ensayo Granulométrico: Agregados Pétreos, Agregado Fino, Ceniza de cáscara de nuez y Pavimento asfáltico reciclado (RAP):	29
c) Resultado del Ensayo Contenido de Humedad: Agregado Fino:	32
d) Resultado del Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión – Máquina de los Ángeles: Agregado Grueso e Intermedio:	32
e) Resultado del Ensayo Gravedad específica: Agregado Grueso y Fino:	32
f) Resultado del Ensayo Gravedad específica: Ceniza de cáscara de nuez:	33
g) Resultados Ensayo Centrifugado: Pavimento asfáltico reciclado (RAP):	34
h) Datos recopilados sobre la implementación de ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP) en mezclas asfálticas:.....	34
i) Fórmula Maestra para la Mezcla asfáltica Tradicional:	35
j) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Tradicional:.....	35
k) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP :	36
l) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP:	36
m) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP:	37
n) Resultados de las propiedades: Mezcla Asfáltica Tradicional, Criterios Marshall: 37	
o) Resultados de “Contenido Óptimo de AC – 20”: Mezcla Asfáltica Tradicional:.	38
p) Alternativas usadas para el diseño de mezcla asfáltica con sustitución parcial de Ceniza de cáscara de nuez y Pavimento asfáltico reciclado (RAP):	42
n) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada:	44
o) Resultados de las propiedades: Mezcla Asfáltica Modificada, Criterios Marshall:.	45
p) Resultados de “Contenido Óptimo de AC – 20”: Mezcla Asfáltica Modificada:	47
3) Fase 3	59
a) Comparación de los resultados entre la Mezcla asfáltica Tradicional y la Mezcla asfáltica Modificada	59

b) Comparación de los resultados económicos entre la Mezcla asfáltica Tradicional y la Mezcla asfáltica Modificada	69
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	69
A. HIPÓTESIS	69
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	70
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
I. CONCLUSIONES	72
II. RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	78
a) Anexo 1. Resultados del ensayo de pesos unitarios:	78
b) Anexo 2. Resultados del ensayo granulométrico de los agregados pétreos:	79
c) Anexo 3. Resultados del ensayo granulométrico del RAP:	80
d) Anexo 4. Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino:	81
e) Anexo 5. Resultados del ensayo contenido de humedad:	83
f) Anexo 6. Resultados del ensayo de abrasión:	83
g) Anexo 7. Resultados del ensayo de gravedad específica agregados:	85
h) Anexo 8. Resultados del ensayo de gravedad específica ceniza de cáscara de nuez: 86	
i) Anexo 9. Resultados del ensayo centrifugado RAP:	87
j) Anexo 10. Resultados del ensayo rice – mezcla asfáltica tradicional:	88
k) Anexo 11. Resultados del ensayo rice – mezcla asfáltica modificada:	89
l) Anexo 12. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas asfáltica tradicional	91
m) Anexo 13. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas asfáltica modificada.....	88
n) Anexo 14. APU: Mezcla Asfáltica Tradicional en planta:	91
o) Anexo 15. APU: Mezcla Asfáltica Modificada en planta:	92
Anexos Fotográficos	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Obtención de los agregados pétreos de la mina “ARIAS PRODUCIDOS CÍA. LTDA.”	9
Fig. 2. Ubicación de la vía para muestras de asfalto	9
Fig. 3. Recolección de las muestras de asfalto	10
Fig. 4. Recolección de cáscara de nuez y triturado	10
Fig. 5. Ensayo Pesos Unitarios - Agregado Grueso y Fino	11
Fig. 6. Ensayo de Granulometría - Agregado fino y grueso.....	12
Fig. 7. Ensayo de Abrasión – Máquina de los Ángeles.....	14
Fig. 8. Ensayo de Gravedad Específica - Agregado Grueso y Fino	16
Fig. 9. Ensayo Gravedad Específica - Agregado fino	16
Fig. 10 Ensayo de Centrifugado del RAP	19
Fig. 11. Elaboración de briquetas – Mezcla Asfáltica Tradicional.....	20
Fig. 12. Elaboración de briquetas – Mezcla Asfáltica Modificada	21
Fig. 13. Ensayo de briquetas en Máquina Marshall	22
Fig. 14. Elaboración de Ensayo Rice	25
Fig. 15 Extracción de los materiales pétreos 3/4”, 3/8” y Fino.....	27
Fig. 16 Extracción del pavimento asfáltico reciclado (RAP).....	28
Fig. 17 Curva granulométrica - Agregados pétreos.....	30
Fig. 18 Curva granulométrica – RAP	30
Fig. 19 Curva Granulométrica - Agregado Fino	31
Fig. 20 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional.....	39
Fig. 21 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional.....	39
Fig. 22 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional.....	40
Fig. 23 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto	41
Fig. 24 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto	41
Fig. 25 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto	42
Fig. 26 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP	47
Fig. 27 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP	48
Fig. 28 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP	48
Fig. 29 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP	49
Fig. 30 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP.....	50
Fig. 31 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP	50

Fig. 32 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	51
Fig. 33 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	52
Fig. 34 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	52
Fig. 35 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	53
Fig. 36 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	54
Fig. 37 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP	54
Fig. 38 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	55
Fig. 39 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	56
Fig. 40 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	56
Fig. 41 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	57
Fig. 42 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	58
Fig. 43 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP	58
Fig. 44 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 5.5% de AC-20	59
Fig. 45 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.0 % de AC-20	60
Fig. 46 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.5% de AC-20	60
Fig. 47 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 5.5% AC – 20	61
Fig. 48 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.0% AC – 20	61
Fig. 49 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.5% AC – 20	62
Fig. 50 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 5.5% AC – 20	62
Fig. 51 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.0 AC – 20	63
Fig. 52 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.5% AC – 20	63
Fig. 53 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 5.5% AC – 20	64

Fig. 54 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.0% AC – 20	64
Fig. 55 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.5% AC – 20	65
Fig. 56 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 5.5% AC – 20	65
Fig. 57 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 6.0% AC – 20	66
Fig. 58 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 6.5% AC – 20	67
Fig. 59 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 5.5% AC – 20	67
Fig. 60 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.0% AC – 20	68
Fig. 61 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.5% AC – 20	68
Fig. 62 Comparación de los resultados económicos – Mezcla asfáltica tradicional y Mezcla asfáltica modificada.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I REQUISITOS ENSAYO GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA EN PLANTA	12
TABLA II SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELO (BASADO EN EL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ NÚM. 75).....	13
TABLA III GRADUACIÓN DE LAS MUESTRAS Y NÚMERO DE ESFERAS DE ENSAYO DE ABRASIÓN	14
TABLA IV CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS MARSHALL CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS MARSHALL	22
TABLA V UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	27
TABLA VI UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP).....	28
TABLA VII RESULTADOS PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	29
TABLA VIII RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA. Y PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)	29
TABLA IX RESULTADOS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO	32
TABLA X RESULTADOS RESISTENCIA A LA ABRASIÓN AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	32
TABLA XI RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	33
TABLA XII RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ	33
TABLA XIII RESULTADOS PORCENTAJE DE ASFALTO DEL RAP	34
TABLA XIV DATOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	34
TABLA XV DATOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	34
TABLA XVI FÓRMULA MAESTRA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.....	35
TABLA XVII RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL	35
TABLA XVIII MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 7.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10.00% RAP	36
TABLA XIX MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 10.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20.00% RAP	36
TABLA XXI MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 13.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30.00% RAP.....	37
TABLA XXII RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.....	37
TABLA XXIII CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.....	40
TABLA XXIV ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP.....	43

TABLA XXV ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP	43
TABLA XXVI ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP	43
TABLA XXVII RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP	44
TABLA XXVIII RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP	44
TABLA XXIX RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP	44
TABLA XXX RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	45
TABLA XXXI RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	45
TABLA XXXII RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	46
TABLA XXXIII CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	49
TABLA XXXIV CONTENIDO ÓPTIMO DE AASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	53
TABLA XXXV CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL.....	57
TABLA XXXVI VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 5.5% DE AC - 20	70
TABLA XXXVII VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.0% DE AC – 20.....	70
TABLA XXXVIII VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.5% DE AC – 20	71
TABLA XXXIX PESOS UNITARIOS CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	78
TABLA XL GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA	79
TABLA XLI GRANULOMETRÍA DEL PAVIMENTOS ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)	80
TABLA XLII GRANULOMETRÍA CON EL AGREGADO FINO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	81
TABLA XLIII GRANULOMETRÍA CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ.....	82

TABLA XLIV CONTENIDO DE HUMEDAD CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	83
TABLA XLV ABRASIÓN CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	83
TABLA XLVI GRAVEDAD ESPECÍFICA CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”	85
TABLA XLVII GRAVEDAD ESPECÍFICA DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ.....	86
TABLA XLVIII CENTRIGUADO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)	87
TABLA XLIX ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA TRADICIONAL	88
TABLA L ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP	89
TABLA LI ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP	90
TABLA LII ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP	90
TABLA LIII ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL	91
TABLA LIV ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP	88
TABLA LV ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP.....	89
TABLA LVI ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP.....	90
TABLA LVII APU: MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA	91
TABLA LVIII APU: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y RAP EN PLANTA.....	92

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

RAP: Pavimento Asfáltico Reciclado

HMA: Mezcla Caliente De Asfalto

ASTM: American Society for Testing and Materials

MOP: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

AASHTO: Association of State Highway and Transportation

CCN: Ceniza de Cáscara de Nuez

RESUMEN EJECUTIVO

La incorporación de materiales reciclados en las mezclas asfálticas representa una alternativa innovadora y sostenible para disminuir la contaminación global, con el objetivo de ofrecer ventajas tanto en la calidad de los pavimentos como en la preservación del medio ambiente. Este enfoque también contribuye a la reducción de residuos, optimiza el uso de recursos naturales y promueve prácticas de construcción más ecológicas y responsables a largo plazo.

Este proceso se desarrolló en tres etapas. En la primera, se seleccionó el sitio adecuado para la recolección de los materiales. En la segunda, los materiales fueron sometidos a diversas pruebas, como granulometría, abrasión, ensayo Rice y el método Marshall, con el fin de evaluar sus propiedades de estabilidad, flujo, vacíos con aire y vacíos llenos de asfalto. Para el diseño, se añadió ceniza de cáscara de nuez y RAP, utilizando los contenidos óptimos de asfalto de 5.5, 6.0 y 6.5 por ciento. La ceniza de cáscara de nuez reemplazó parcialmente el agregado fino que pasó por el tamiz N° 4, mientras que el RAP reemplazó parcialmente el agregado intermedio de 3 octavos, al pasar el tamiz media pulgada y ser retenido en el N° 4; Así, se incorporaron ceniza de cáscara de nuez y RAP en proporciones de 7 por ciento ceniza – 10 por ciento RAP, 10 por ciento ceniza – 20 por ciento RAP y 13 por ciento ceniza – 30 por ciento RAP. En la tercera fase, se llevó a cabo un análisis comparativo de las mezclas asfálticas modificadas y la mezcla convencional, utilizando los criterios del método Marshall.

Los resultados mostraron que, al incorporar ceniza de cáscara de nuez y RAP con las proporciones mencionadas, la mayoría de los ensayos no cumplió con los rangos de las propiedades mecánicas de la mezcla en comparación con la tradicional, concluyendo que la mezcla modificada no supera a la convencional en términos de resistencia, durabilidad y sostenibilidad ambiental.

Palabras claves: Mezcla modificada, ceniza de cáscara de nuez, pavimento reciclado, RAP, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The incorporation of recycled materials in asphalt mixtures represents an innovative and sustainable alternative to reduce global pollution, aiming to offer benefits both in pavement quality and environmental preservation. This approach also contributes to waste reduction, optimizes the use of natural resources, and promotes more environmentally friendly and responsible construction practices in the long term.

This process was developed in three stages. In the first, the appropriate site for collecting materials was selected. In the second, the materials were subjected to various tests, such as granulometry, abrasion, the Rice test, and the Marshall method, in order to evaluate their properties of stability, flow, air voids, and asphalt-filled voids. For the design, walnut shell ash and RAP were added, using optimal asphalt contents of 5.5, 6.0, and 6.5 percent. The walnut shell ash partially replaced the fine aggregate passing through the No. 4 sieve, while RAP partially replaced the intermediate aggregate of 3/8, passing through the half-inch sieve and being retained on the No. 4 sieve. Thus, walnut shell ash and RAP were incorporated in proportions of 7 percent ash – 10 percent RAP, 10 percent ash – 20 percent RAP, and 13 percent ash – 30 percent RAP. In the third phase, a comparative analysis of the modified asphalt mixtures and the conventional mixture was conducted using the Marshall method criteria.

The results showed that, by incorporating walnut shell ash and RAP in the mentioned proportions, most of the tests did not meet the mechanical property ranges of the mixture compared to the traditional one, concluding that the modified mixture does not outperform the conventional one in terms of resistance, durability, and environmental sustainability.

Keywords: Modified mixture, walnut shell ash, recycled pavement, RAP, mechanical properties

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación tiene como objetivo abordar los problemas físico-mecánicos en suelos con alto contenido de arcilla en subrasantes, mediante la adición de cenizas de cáscara de nuez. Esta alternativa se considera más viable debido a su costo accesible. Además, se espera que este estudio sirva como base para investigaciones futuras, destacando las propiedades mejoradas que las cenizas de cáscara de nuez pueden aportar al refuerzo de subrasantes[1]. En la actualidad, se utilizan varios métodos para desarrollar mezclas asfálticas. Sin embargo, en Ecuador, la inclusión de materiales reciclados como ceniza de cáscara no ha sido completamente adoptada. El objetivo del proyecto actual es examinar mezclas asfálticas que incluyen este material reciclado de manera parcial, considerando tanto el impacto ambiental como el económico[2].

Los avances en ingeniería civil y el progreso tecnológico del país se enfocan en reducir los costos asociados a los componentes del asfalto, como los agregados, y en mejorar la gestión ambiental mediante la utilización de la ceniza de cáscara de nuez, ya que este material se produce en gran cantidad en épocas de cosecha y se considera un desperdicio lo cual es un incentivo para realizar la experimentación con el mismo, por su bajo costo y accesibilidad[3]

Por esto a lo largo de las vías en el Ecuador, se han observado daños en el pavimento debido al intenso tráfico. Partes de la estructura del pavimento muestran fisuras y grietas que comprometen su integridad, causando congestión en el tránsito vehicular para residentes, comerciantes y conductores. Actualmente, se está buscando materiales que puedan mejorar las propiedades del concreto, reducir costos, reutilizar residuos y disminuir la contaminación ambiental [4]

Lo cual se considera el uso de ceniza de cáscara de nuez y asfalto reciclado para mejorar las propiedades del asfalto y así aumentar la calidad y durabilidad del pavimento, que es ampliamente utilizado para el transporte y para prevenir su deterioro. Esto tiene como objetivo reducir la cantidad de agregados necesario para la fabricación del pavimento, lo cual es beneficioso para el medio ambiente al disminuir las emisiones de CO₂ [4].

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los pavimentos son elementos fundamentales en la infraestructura vial terrestre, diseñados para facilitar el tránsito vehicular de manera segura, cómoda y económicamente eficiente. Dentro de esta clasificación, los pavimentos asfálticos, también conocidos como flexibles, se componen principalmente de materiales asfálticos y granulares, lo que les confiere características que los hacen muy adecuados para soportar las exigencias del tráfico [5]

Sin embargo, el deterioro de estos pavimentos con el tiempo se ha convertido en un desafío importante. Factores ambientales, como la exposición a cambios de temperatura y humedad, junto con la carga generada por vehículos pesados, contribuyen al desgaste de la superficie. Esto ha llevado a una creciente preocupación sobre la vida útil de los pavimentos asfálticos, que, a pesar de su diseño y construcción cuidadosos, pueden sufrir problemas estructurales que afectan su funcionalidad y, por ende, la seguridad vial [5][6]

Ante esta situación, surge la necesidad de adoptar enfoques innovadores en la construcción y mantenimiento de pavimentos. Una de las propuestas más relevantes es la incorporación de materiales reciclados en las mezclas asfálticas. Este enfoque no solo tiene el potencial de mejorar la calidad de los pavimentos, sino que también aborda la problemática global de la contaminación, promoviendo prácticas sostenibles que reducen el impacto ambiental de la industria de la construcción [6]

La industria de la construcción y el mantenimiento de carreteras, que consume grandes cantidades de recursos naturales, presenta una oportunidad significativa para minimizar su huella ambiental. La utilización de materiales reciclados, como el Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) y otros residuos, se ha identificado como una alternativa efectiva para reducir la demanda de nuevos materiales y, al mismo tiempo, mitigar la generación de desechos [7].

Por esto el RAP, que se obtiene a partir de la renovación de pavimentos deteriorados, ha demostrado ser un recurso valioso. Este material puede reutilizarse en nuevas mezclas asfálticas, ya sea como agregado adicional o como ligante complementario. Las investigaciones recientes han mostrado que es viable incorporar un porcentaje considerable de RAP sin comprometer el rendimiento de las mezclas. Históricamente, se han utilizado proporciones de

alrededor del 30% de RAP en combinación con un 70% de material virgen, aunque en algunos países se han reportado experiencias exitosas con porcentajes aún mayores [8]

Además, el recuperar pavimentos deteriorados, resulta ser tanto económico como beneficioso desde el punto de vista ambiental. Al disminuir la necesidad de nuevos materiales, esta técnica contribuye a la sostenibilidad de la industria de la construcción de carreteras. La incorporación de RAP no solo reduce los costos asociados con la adquisición de materiales nuevos, sino que también ayuda a mitigar el incremento en los precios de las materias primas [8]. Junto a esto la utilización de ceniza de cáscara de nuez, son beneficiosas desde un punto de vista económico.

Por otro lado, la ceniza de cáscara de nuez, es un material que genera grandes cantidades de residuos durante su recolección y uso en épocas altas de cosecha, se presenta como una alternativa viable para su reutilización en pavimentación. Este material, que se caracteriza por incrementar la resistencia a compresión y retardar el tiempo de fragua del mortero además de que el coste de su procesamiento y uso en el concreto como aditivo es competitivo con un aditivo comercial de similar característica como la micro sílice [9], donde también puede ser incorporado en las mezclas asfálticas, contribuyendo a la reducción de residuos y a la disminución de la demanda de recursos naturales para la producción de nuevos materiales. La reutilización de RAP no solo ayuda a reducir el volumen de desechos en vertederos, sino que también favorece la conservación de energía y la reducción de emisiones de carbono.

La integración de prácticas de reciclaje en la industria de la construcción no solo fomenta la eficiencia y sostenibilidad, sino que también ayuda a preservar los recursos naturales y mitigar el impacto ambiental de las actividades constructivas. Un enfoque más amplio en el reciclaje de materiales puede facilitar la transición hacia un modelo de construcción más circular, donde los residuos de un proceso se convierten en insumos para otro [10] .

Por lo que en Ecuador, donde las carreteras principales se construyen utilizando mezclas asfálticas en caliente (HMA), es fundamental aplicar estándares de calidad rigurosos. El método Marshall sigue siendo el estándar principal para el diseño y control de HMA, buscando establecer una correlación entre los resultados de laboratorio y el desempeño real de la mezcla. Para ello, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de las propiedades de los materiales pétreos involucrados, asegurando que cumplan con características mínimas de fricción, suavidad, control de ruido, resistencia al surco y adecuado drenaje [11].

Por lo cual es esencial que los componentes utilizados en las mezclas asfálticas sean de alta calidad en términos de durabilidad y resistencia. La estabilización de agregados con emulsión asfáltica y el uso de fibras sintéticas y naturales en las mezclas asfálticas han demostrado mejorar significativamente las propiedades mecánicas, aumentando la resistencia a la fatiga y al agrietamiento. Investigaciones recientes han mostrado que la inclusión de fibras, como las de cerámica y acero, incrementa la estabilidad y el rendimiento general de las mezclas [8].

Por lo que esta investigación se centra en la comparación entre el asfalto tradicional y el asfalto modificado mediante la inclusión de ceniza de cáscara de nuez y RAP [11] La reciclabilidad de estos materiales ofrece una alternativa sostenible que no solo reduce residuos, sino que también alivia la presión sobre los vertederos. Para garantizar la calidad y el rendimiento del pavimento flexible modificado, es crucial realizar ensayos de caracterización que aseguren su óptimo desempeño en condiciones reales de uso.

A través de estas estrategias, se busca no solo mejorar la infraestructura vial, sino la implementación de prácticas de diseño y construcción que integren materiales reciclados en las mezclas asfálticas es un paso hacia un futuro más sostenible en la industria de la construcción, beneficiando tanto a las comunidades como al medio ambiente.

Recordemos que las mezclas asfálticas son materiales compuesto principalmente por asfalto como aglomerante, agregados y vacíos. Se han utilizado comúnmente en la construcción de pavimentos flexibles debido a la buena adherencia entre el aglomerante y los agregados. Sin embargo, el incremento del tráfico, así como las variaciones de temperatura y la sensibilidad al agua, pueden causar distintos tipos de deterioro en la superficie de estos pavimentos, como surcos (deformaciones permanentes), segregación y agrietamiento [12]. Un diseño óptimo de pavimento flexible debe ser duradero, robusto y resistente a la deformación permanente y al agrietamiento, con el objetivo de evitar o al menos retrasar el deterioro del pavimento. Aunque se han empleado mezclas bituminosas con aditivos como polímeros y caucho reciclado para mitigar el deterioro, aún persisten problemas relacionados con la deformación permanente y el agrietamiento por fatiga, debido a la debilidad de la resistencia a la tracción y al corte en las capas bituminosas [13].

Por lo que el uso de fibras como refuerzo puede mejorar la durabilidad ante la fatiga y reducir el riesgo de ahuellamiento al aumentar la resistencia al agrietamiento y a la deformación

permanente. Se utilizan diversas fibras para potenciar las propiedades de ingeniería de las mezclas bituminosas. Estas fibras poseen características deseables que también benefician otros materiales que requieren propiedades similares. Al incorporar fibras con alta resistencia a la tracción, se puede aumentar la cohesión y resistencia de las mezclas asfálticas en comparación con las mezclas sin refuerzo. Las fibras desempeñan un papel fundamental al incrementar la resistencia a la tracción de las mezclas y ofrecer mayor resistencia a la fatiga y a la deformación permanente [14]. Además, el uso de fibras en lugar de polímeros ayuda a prevenir el escurrimiento de las mezclas asfálticas durante el proceso de pavimentación y transporte. También contribuyen a mejorar la viscosidad, la resistencia al ahuellamiento, el módulo de rigidez y la resistencia a la humedad, así como a retrasar el agrietamiento por reflexión en los pavimentos [14] [15].

Hoy en día, se emplean tanto fibras sintéticas como naturales como refuerzo en Asfalto en Mezcla Caliente (HMA). Las fibras sintéticas, como las de carbono, polímero y vidrio, tienen una alta resistencia a la tracción en comparación con las mezclas bituminosas, lo que sugiere que su uso podría contribuir a aumentar la resistencia al ahuellamiento, la susceptibilidad a la humedad, el módulo de rigidez y la resistencia a ciclos de congelación y descongelación. Las fibras y cenizas naturales, provenientes de plantas y renovables anualmente, también se utilizan para reforzar la matriz polimérica. Los componentes naturales de estas fibras incluyen celulosa, hemicelulosas, lignina, pectina y cera, que aportan beneficios como alta resistencia, propiedades térmicas adecuadas y una mejor recuperación de energía [16].

No hay que olvidar que el pavimento asfáltico se ha utilizado ampliamente a nivel mundial debido a su excelente rendimiento. Este tipo de pavimento se fabrica a partir de una mezcla de asfalto caliente, un material viscoelástico característico. Como consecuencia, en verano, puede sufrir deformaciones por el calor, mientras que en invierno, puede agrietarse debido a las bajas temperaturas. Estas deformaciones y grietas pueden afectar significativamente la experiencia de conducción de los vehículos. Por ello, investigadores de diversos países han estado trabajando en la modificación de las mezclas asfálticas para abordar estos problemas de la mejor manera posible [17].

Es decir, el objetivo principal de este estudio es investigar en laboratorio el rendimiento de las briquetas de Asfalto reforzadas con ceniza de cáscara de nuez y RAP. Estas mezclas se comparan con mezclas asfálticas tradicionales [18].

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas del asfalto utilizando ceniza de cáscara de nuez con asfalto reciclado.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Identificar la ubicación del sitio de extracción de los materiales, que serán utilizados para la elaboración de briquetas
- 2) Elaborar briquetas de asfalto aplicando ensayos de caracterización (Análisis granulométrico, Ensayo de Abrasión, Método Marshall, Ensayo Rice) con la adición de ceniza de cáscara de nuez.
- 3) Realizar el análisis comparativo de los valores obtenidos entre las mezclas asfálticas modificadas y la mezcla tradicional para determinar el grado de efectividad.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

La presente investigación se estructuró en tres etapas secuenciales. La primera etapa constó en la localización del área donde se obtuvieron los materiales destinados a la producción de las briquetas. En la segunda etapa se procedió a la fabricación de las briquetas asfálticas, incorporando ceniza de cáscara de nuez y RAP, realizando diversos ensayos de caracterización, incluyendo análisis granulométrico, pruebas de abrasión, el método Marshall y el ensayo Rice. Finalmente, en la tercera etapa se efectuó una evaluación comparativa entre las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas, con el propósito de establecer su nivel de efectividad.

Todo el proceso investigativo se desarrolló siguiendo rigurosamente estas tres fases metodológicas.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MATERIALES

En la primera etapa, los equipos utilizados fueron: GPS (Marca GARMIN – etrex 10), bolsas y palas para la recolección de los diferentes tipos de agregados, cáscaras de nuez y planchas de asfalto reciclado.

En la segunda etapa los equipos y materiales utilizados para cada ensayo serán mencionados conforme a las normativas: ASTM – MOP – INEN – AASHTO.

En principio, para la realización del ensayo de pesos unitarios en los agregados finos y gruesos se utilizó un molde de volumen conocido, una varilla de acero con punta semiesférica y una balanza eléctrica (Marca JADEVER – JWI 520)

Adicional, se utilizó un molino de granos manual para la trituración de las cáscaras de nuez.

En segundo lugar, para el ensayo granulométrico, se utilizó tamices de diferentes graduaciones de malla (Marca HUMBOLDT), balanza eléctrica (OHAUS) y un horno de 105 a 100 °C (Marca BIOBASE – Modelo BOV – V230F).

También, para el ensayo de abrasión se utilizaron esferas de acero, tamiz #12 (Marca HUMBOLDT) para

Por otro lado, para el ensayo de abrasión, se utilizó esferas de acero, el tamiz #12 (Marca HUMBOLDT) para la clasificación del material desgastado, además del equipo central que fue la máquina de Los Ángeles (Marca ASEA – CES), que consta de un tambor cilíndrico giratorio provisto de una placa metálica y una placa angular en el sitio de la tapa y en sentido radial.

En cuanto al ensayo de gravedad específica para agregado grueso y fino, se utilizó bandejas, una balanza electrónica (Marca OHAUS), un horno a 110 °C (Marca BIOBASE – Modelo BOV – V230F), un bote de inmersión para saturar las muestras de suelo, una cubeta, un picnómetro (Marca Pyrex), molde y pisón. Así como, para el ensayo de centrifugado, se utilizó una máquina de extracción de asfalto (Marca ETI).

Por otro lado, para el ensayo Método Marshall, se utilizaron moldes Marshall para dar forma a la muestra, compactador Marshall para aplicar la carga vertical y compactar la mezcla, una prensa Marshall (Marca Roingtec) para determinar la estabilidad y el flujo, una cocina a gas, un termómetro, baño maría (Marca Forney – Modelo H – 1390) y una balanza electrónica (Marca OHAUS).

Por último, para el desarrollo del ensayo rice, se requirió bomba de vacíos (Marca Roingtec), un termómetro, una balanza electrónica (Marca OHAUS), lámina de vidrio, tamiz $\frac{3}{4}$ (Marca HUMBOLDT) y bandejas.

Finalmente, en la tercera fase se utilizó una computadora portátil (Marca MSI – Intel Core i7) para analizar y comparar los resultados obtenidos.

II. MÉTODOS

Como se indicó previamente, el presente trabajo investigativo cuenta con tres fases que permitieron lograr los objetivos establecidos. A continuación, se describió la metodología empleada en cada una de estas fases.

1) Fase 1

Para el desarrollo de la primera fase, se identificó la ubicación del sitio de extracción de los materiales, que fueron utilizados para la elaboración de briquetas, por lo que se empleó el método de investigación de campo, ya que se realizó la recolección de los agregados pétreos, obtenidos de “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.” Como se observa en la Fig. 1, mina ubicada en la calle Huapante vía a Píllaro, parroquia Panzaleo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. Esta mina ofrece diferentes tamaños de agregado triturado por lo que se recolectó cantidades considerables de la muestra para la elaboración de los ensayos propuestos en el presente trabajo investigativo.



Fig. 1. Obtención de los agregados pétreos de la mina “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

Posteriormente, para el trabajo investigativo como se observa en la Fig. 2 se utilizaron planchas de asfalto procedentes de la Av. 7 Tratados y Juan Montalvo, sector Montalvo, cantón Cevallos, provincia Tungurahua, la cual que se encontraba en proceso de cambio de tuberías de agua potable.



Fig. 2. Ubicación de la vía para muestras de asfalto

Se procedió a recolectar cierta cantidad de muestras que sirvió para utilizarlo parcialmente en la mezcla asfáltica modificada.



Fig. 3. Recolección de las muestras de asfalto

Finalmente, la cáscara de nuez que se observa en la Fig. 4 para el diseño de la mezcla asfáltica fue conseguido por medio de reciclaje de tiendas de frutos secos, el material fue limpiado y posteriormente triturado manualmente con el uso de un molino de grano manual hasta lograr obtener una granulometría que retenga en las diferentes aberturas de tamiz.



Fig. 4. Recolección de cáscara de nuez y triturado

2) Fase 2

En la presente fase, se elaboraron briquetas de asfalto aplicando ensayos de caracterización (Análisis granulométrico, Ensayo de Abrasión, Método Marshall, Ensayo Rice), con la adición de ceniza de cáscara de nuez y RAP, por lo que se usó el método de investigación experimental ya que implicó realizar ensayos de laboratorio descritos a continuación en orden cronológico:

a) Ensayo de Pesos Unitarios o Ensayo de densidad en el campo:

El ensayo de pesos unitarios se realiza para conocer la densidad en seco o húmedo de un material granular como grava, arena o piedra triturada, como se observa en la Fig. 5.



Fig. 5. Ensayo Pesos Unitarios - Agregado Grueso y Fino

El proceso para llevar a cabo este ensayo se realizó en base a la norma ASTM C 29/C 29M-97, en primer lugar, se calculó el volumen y se determinó el peso del molde, para posteriormente tomar una muestra representativa del agregado $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y agregado fino respectivamente, se llenó el molde con el material seco suavemente hasta el punto de derrame, se compactó con 3 golpes en cada lado utilizando la varilla de acero de punta semiesférica, se niveló al ras y finalmente se pesó el molde con el agregado compactado en la balanza [19].

Para el cálculo del peso unitario de los agregados $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y agregado fino se usó la Ecuación (1):

$$\text{Peso unitario} = \frac{W_{seco}}{V} \quad (1)$$

Donde:

W_{seco} : Agregado

V: Volumen del molde

b) *Ensayo Granulométrico:*

El ensayo de análisis granulométrico se refiere al método de prueba que abarca la determinación de la distribución de tamaño de las partículas en agregados finos y gruesos mediante tamizado, como se observa en la Fig. 6.



Fig. 6. Ensayo de Granulometría - Agregado fino y grueso

En primer lugar, el método de ensayo se realizó en base a la norma ASTM C 136 – INEN 696, se requirió de árido grueso $\frac{3}{4}$ ", árido medio $\frac{3}{8}$ " y árido fino pasante tamiz #4, se secaron las muestras previamente al tamizado y se escogió una muestra de agregado considerable para el ensayo [20].

Posteriormente, para el tamizado en seco se utilizaron tamices de diferentes tamaños de malla para la determinación de la distribución por tamaño de las partículas, de acuerdo con lo especificado en la Tabla I de las Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002 [21].

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)	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	Nº4
1"	25,40	100	--	--	--
$\frac{3}{4}$ "	19,00	90 – 100	100	--	--
$\frac{1}{2}$ "	12,70	--	90 – 100	100	--
$\frac{3}{8}$ "	9,50	56 – 80	90 – 100	90 – 100	100
No. 4	4,75	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 - 100
No. 8	2,36	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100

No. 16	1,18	--	--	--	40 – 80
No. 30	0,60	--	--	--	25 – 65
No. 50	0,30	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
No. 100	0,15	--	--	--	3 – 20
No. 200	0,075	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 -10

Fuente: Especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002

Finalmente, mediante los coeficientes de uniformidad (C_u) y de curvatura (C_c) obtenidos del análisis granulométrico, se identificó el tipo de suelo siguiendo los criterios de asignación de símbolos de grupo establecidos por las normativas AASHTO y SUCS según lo indicado en la Tabla III [22].

Se realizó el cálculo con las ecuaciones Ecuación (2) y (3):

- **Coefficiente de Uniformidad:**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

- **Coefficiente de Curvatura:**

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3)$$

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

C_c : Coeficiente de curvatura

D_{10} : Diámetro donde el 10% de las partículas son más pequeñas

D_{30} : Diámetro donde el 30% de las partículas son más pequeñas

D_{60} : Diámetro donde el 60% de las 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 núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción retenida en el tamiz núm. 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 núm. 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 utilizó para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados pétreos de la mina “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.” mediante la Máquina de ensayo Los Ángeles, se realizó dos métodos utilizando los agregados pétreos $\frac{3}{4}$ ” y $\frac{3}{8}$ ”, como se observa en la Fig. 7.



Fig. 7. Ensayo de Abrasión – Máquina de los Ángeles

El método de ensayo se realizó en base a la norma ASTM C 131 - 01, que describe el procedimiento para ensayar tamaños de áridos gruesos menores a los 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ pulgada), como se indica en la Tabla III [22]

TABLA III

GRADUACIÓN DE LAS MUESTRAS Y NÚMERO DE ESFERAS DE ENSAYO DE ABRASIÓN

Qué pasa	% Retenido	Masa de los tamaños indicados (g)			
Tamiz	Tamiz	A	B	C	D
1 ½”	1”	1250 ± 10			
1”	¾”	1250 ± 10			
¾”	½”	1250 ± 10	2500 ± 10		
½”	3/8”	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8”	¼”			2500 ± 10	
¼”	# 4			2500 ± 10	
# 4	# 8				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas		12	11	8	6
Número de Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de Rotación (minutos)		15	15	15	15

Fuente: Norma ASTM C 131 – 01

Primero, se realizó el Método B, se pesó 2500 g de material retenido en el tamiz $\frac{1}{2}$ ” y 2500 g retenidos en el tamiz $\frac{3}{8}$ ”. Por otro lado, también se realizó el Método C, por lo que se pesó 2500 g retenidos en el tamiz $\frac{1}{4}$ ” y 2500 g retenidos en el tamiz #4. Posteriormente, el material

retenido total de 5000 g para cada método se lavó y secó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por un período entre 18 y 24 horas y posteriormente pesado obteniendo el peso inicial.

Después, de acuerdo con lo detallado en la Tabla III, se introdujo el material granular en el cilindro de la máquina de los Ángeles, junto con 11 esferas de acero para el Método B y 8 esferas de acero para el Método C, giró a una velocidad de 30 a 33 rev/min durante 500 revoluciones, por un tiempo de 15 minutos respectivamente, haciendo que las bolas de acero impacten y abrasen la muestra.

Finalmente, se retiró las muestras respectivas del Método B y del Método C del cilindro y se lo vibró por el tamiz #12, de manera que todo el material retenido en ese tamiz es lavado, secado al horno y pesado obteniendo el peso final, para determinar la cantidad de desgaste experimentado por la muestra.

Por consiguiente, para el cálculo de desgaste del material del ensayo de abrasión máquina de los Ángeles la resistencia se realizó con la Ecuación. (4):

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

Donde:

A: Peso Inicial (lavado y secado al horno)

B: Peso Final (retenido en el tamiz #12)

d) Ensayo de Gravedad Específica:

El ensayo de gravedad específica de los agregados se utiliza para determinar la relación entre el peso del agregado y el peso de un volumen igual de agua, ya que es importante conocer las propiedades físicas de los agregados utilizados en la elaboración de asfalto, como se observa en la Fig. 8.



Fig. 8. Ensayo de Gravedad Específica - Agregado Grueso y Fino

El proceso para llevar a cabo este ensayo se basó en la norma INEN 856 e INEN 857, en primer lugar, se seleccionó una muestra de agregado $\frac{3}{4}$ " , $\frac{3}{8}$ " y agregado fino respectivamente.

En primer lugar, para el ensayo con agregado fino, se sumergió el agregado fino en agua durante un período de 24 horas, se secó la muestra a temperatura ambiente hasta que el agregado haya llenado con agua sus poros. Se retiró la muestra y se ensayó mediante el molde y pistón.



Fig. 9. Ensayo Gravedad Específica - Agregado fino

Por otro lado, se pesó el picnómetro en la balanza, luego se pesó 250 g de agregado fino seco previamente ensayado, se llenó parcialmente el picnómetro con agua y se introdujo el agregado fino, se agitó, invirtió y giró el picnómetro manualmente para eliminar todas las burbujas de

aire existentes y se pesó en la balanza, como se puede observar en la fig. 9 Posteriormente, se retiró el exceso de agua y se pesó el picnómetro con el agregado y el agua, se retiró el agregado fino del picnómetro, se secó el material a temperatura ambiente durante $1 \pm \frac{1}{2}$ hora. Finalmente, se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un período de tiempo entre 18 y 24 horas, se dejó enfriar y se pesó [23].

En cuanto al ensayo con agregado grueso, se colocó el agregado de $\frac{3}{4}$ ” y $\frac{3}{8}$ ” en canastillas por separado, se sumergió el agregado en agua y reposó durante un tiempo de 24 horas, posteriormente, se pesó el agregado en la balanza, tomando en cuenta el peso del recipiente y la canastilla, para obtener el peso del agregado saturado al aire, luego se colocó el agregado en la canastilla y se sumergió en agua para obtener el peso del agregado sumergido, finalmente se retiró la canastilla y se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un período de tiempo entre 18 y 24 horas, se dejó enfriar y se pesó para obtener el peso del agregado seco [24] [25].

Por consiguiente, para el cálculo del porcentaje de absorción en el ensayo de gravedad específica para los agregados gruesos se utilizaron las ecuaciones, desde la Ecuación (5) a la (8):

- **Peso Específico SSS:**

$$D = \frac{A}{(B - C)} \quad (5)$$

- **Peso Específico Nominal:**

$$D = \frac{B}{(A - C)} \quad (6)$$

- **Peso Específico Aparente Superficie Seca:**

$$D = \frac{B}{(B - C)} \quad (7)$$

- **Porcentaje de Absorción:**

$$\%Absorción = \left(\frac{(B - A)}{A} \right) \times 100 \quad (8)$$

Por otro lado, para el cálculo del porcentaje de absorción en el ensayo de gravedad específica para los agregados finos se utilizaron las ecuaciones, desde la Ecuación (9) a la (12):

- **Peso Específico Aparente:**

$$D = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (9)$$

- **Peso Específico Nominal:**

$$D = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (10)$$

- **Peso Específico Aparente Superficie Seca:**

$$D = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (11)$$

- **Porcentaje de Absorción:**

$$\%Absorción = \left(\frac{(S - A)}{A} \right) \times 100 \quad (12)$$

Donde:

S: Peso agregado de la muestra saturada y superficie seca

A: Peso agregado en el aire de la muestra de ensayo secado en horno

B: Peso agregado en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficie seca

C: Peso agregado en el agua de la muestra de ensayo saturada

e) Ensayo de Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos:

El Ensayo de Centrifugado es una técnica que ayuda a determinar la granulometría y el porcentaje de asfalto en una muestra de mezcla asfáltica, como se observa en la Fig. 10.



Fig. 10 Ensayo de Centrifugado del RAP

El proceso para llevar a cabo este ensayo se basó en la norma ASTM D 2172, se seleccionó una muestra de asfalto reciclado y se calentó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que la mezcla se encontró en un estado trabajable, después se colocó en la olla de la centrífuga y se pesó para determinar su peso inicial y, por otro lado, se tomó el peso inicial del filtro.

Posteriormente, se colocó en una olla la muestra de asfalto evitándose cualquier pérdida de material en el proceso, además se agregó 500 ml del solvente (gasolina Super), se mezcló cuidadosamente con la ayuda de una espátula de punta redonda y finalmente, se colocó encima el filtro. Vale la pena señalar que es importante dejar reposar la muestra junto con el solvente por un tiempo de 1 hora.

Luego, la centrífuga giró a una velocidad constante durante un tiempo determinado, este proceso separó los componentes de la mezcla; el asfalto y el agregado. También, entre cada lavada, se desmontó la tapa de la centrífuga y el filtro fue limpiado con la ayuda de una espátula para colocar el material adherido en la misma olla. De manera que, este paso se realizó 7 veces, con un total de 2500 ml de solvente (gasolina Extra), hasta que el solvente salió limpio.

Después del centrifugado, se colocó la olla de la centrífuga con el material lavado y el filtro en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un período de 18 a 24 horas, luego se pesó el agregado y el peso del filtro para determinar su peso final.

Por otro lado, se pesó un recipiente para determinar su peso inicial, luego, se midió en una probeta 100 ml de la alícuota extraída, se colocó en el recipiente y se dejó secar en el horno para lograr la evaporación suficiente de la alícuota. Una vez evaporada la alícuota se colocó el recipiente en el horno a una temperatura de $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ hasta que se observe que el solvente se evaporó totalmente y, se pesó el recipiente con la muestra evaporada para obtener el porcentaje de asfalto [26].

f) Ensayo Método Marshall:

El Método Marshall es un procedimiento utilizado para diseñar y evaluar la calidad de mezclas asfálticas, determinando el contenido óptimo de betún para una mezcla de áridos, como se observa en la Fig. 11.



Fig. 11. Elaboración de briquetas – Mezcla Asfáltica Tradicional

El proceso para llevar a cabo este ensayo se basó en la norma ASTM D 1559, AASTHO T 225, que describe el procedimiento para preparar briquetas en las cuales el contenido de betún de la mezcla va aumentado de 0.5 en 0.5 por ciento [27][28]

En principio, se pesó el material total obtenido mediante la fórmula maestra para agregado de $\frac{3}{4}''$, $\frac{3}{8}''$ y Arena, se lavó y colocó en el horno por un período entre 18 y 24 horas. No hay que olvidar, que se colocaron los moldes, el collar, la placa base y espátulas en el horno hasta que adquirieron una temperatura entre 140°C y 150°C .

De modo que, se realizaron las briquetas de asfalto tradicional, se colocó en un recipiente los agregados correspondientes al peso total en gramos para cada briketa y su porcentaje

correspondiente de betún de 5.5%, 6.0% y 6.5% siendo estos los porcentajes óptimos de asfalto utilizados. De manera que se calentó el betún a una temperatura de aproximadamente 140 °C y 150 °C y se extrajo el peso en gramos de betún para completar los 1200 g correspondiente a cada briqueta de mezcla asfáltica tradicional, de modo que se realizaron 3 briquetas de asfalto por cada porcentaje de betún como se indica en la normativa.

En principio, se calentaron los agregados y el betún a dicha temperatura, verificado mediante un termómetro láser, el tiempo de mezcla debe ser breve, completa y homogénea cubrición de todas las partículas. Posteriormente, se introdujo la mezcla en caliente en el interior del molde y se aplicaron 25 pinchazos (15 alrededor y 10 al azar), para obtener un compactado homogéneo y eliminar la posibilidad de huecos.

Se colocó en el pedestal de compactación y se aplicaron 75 golpes a cada cara, se dejó enfriar cada briqueta durante un tiempo de 2 horas para extraer del molde. Luego, se colocó el molde sobre el extractor de muestras y se enumeró cada briqueta con la ayuda de una tiza.

Por otro lado, se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente para las briquetas de asfalto modificado, se añadió el ceniza de cáscara de nuez en porcentajes igual a 7%, 10% y 13% y el pavimento asfáltico reciclado (RAP) en porcentajes igual a 10%, 20% y 30% respectivamente, se colocó en un recipiente los agregados correspondientes al peso total en gramos para cada briqueta y su porcentaje correspondiente de 5.5%, 6% y 6.5% de AC – 20 (cemento asfáltico grado 20), como se observa en la Fig. 12.



Fig. 12. Elaboración de briquetas – Mezcla Asfáltica Modificada

Se calentó el baño María hasta obtener una temperatura de 60 °C, al comprobar que agua se encuentre a dicha temperatura se colocó las briquetas durante un tiempo de 30 minutos.

Después, se ensayó rápidamente cada briqueta en la máquina Marshall, procurando no perder la temperatura de la briqueta, para obtener los valores de Flujo y Estabilidad, como se observa en la Fig. 13.



Fig. 13. Ensayo de briquetas en Máquina Marshall

Finalmente, se compararon los valores obtenidos con los Criterios de diseño para Mezclas Marshall dados en la Tabla IV.

TABLA IV
CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS MARSHALL

Ensayo de acuerdo con el Método Marshall		Tráfico Ligero		Tráfico Medio		Tráfico Medio	
Criterios Marshall		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Número de golpes en cada cara de la probeta		35		50		75	
Estabilidad	Lb	750		1200		1800	
	N	3336		5338		8006	
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)		8	18	8	16	8	14
Índice de vacíos con aire		3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)		70	80	65	78	65	75
Relación Filler/Betún						0.8	1.2

Fuente: Especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002

Por consiguiente, para el cálculo parámetros de diseño se utilizaron las ecuaciones, desde la Ecuación. (13) a la (22):

- **Peso específico Bulk:**

$$\text{Peso Específico Bulk} = \frac{D}{E - F} \quad (13)$$

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:**

$$\text{Peso Específico Máximo Teórico} = \frac{100}{\frac{\%Agregado}{G_{agregado}} + \frac{\% C.A}{G_{agregado}}} \quad (14)$$

Donde:

C.A: Cemento Asfáltico

- **Porcentaje de asfalto absorbido:**

$$\text{Porcentaje de absorción del asfalto} = \frac{(I - H) \times 10^4}{I \times H \times \%Agregado} \quad (15)$$

Donde:

I: Peso específico máximo medido Rice

H: Peso específico máximo teórico

- **Porcentaje volumétrico total agregado**

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

Donde:

G: Peso específico Bulk

- **Porcentaje volumétrico total vacíos con aire**

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

Donde:

G: Peso específico Bulk

I: Peso específico máximo medido Rice

- Porcentaje volumétrico total asfalto efectivo

$$\text{Porcentaje asfalto efectivo} = 100 - K - L \quad (18)$$

Donde:

K: Volumen porcentaje total de agregado

L: Volumen porcentaje total vacíos

- **Porcentaje de vacíos en agregados minerales**

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

Donde:

K: Volumen porcentaje total de agregado

- **Porcentaje de asfalto efectivo**

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

Donde:

J: Porcentaje absorbido de asfalto

- **Porcentaje de vacíos llenos de asfalto**

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

Donde:

N: Vacíos en agregados minerales

L: Volumen porcentaje total vacíos

- **Corrección de Estabilidad**

$$\text{Estabilidad} = Q \times R \quad (22)$$

Donde:

Q: Lectura dial

R: Factor de corrección

g) *Ensayo Rice:*

El ensayo Rice da como resultado la existencia de valores correctos de porcentajes de vacíos totales en el diseño de la mezcla y el porcentaje de compactación durante la colocación del asfalto, como se observa en la Fig. 14.



Fig. 14. Elaboración de Ensayo Rice

El proceso para llevar a cabo este ensayo se basó en la norma ASTM D 2041, se colocaron las briquetas preparadas en bandejas metálicas y llevadas al horno, después de cierto tiempo se retiraron las probetas del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente [29].

Posteriormente, se pesó el frasco más la lámina de vidrio, posteriormente se llenó el frasco totalmente con agua y se enrasó el frasco con la lámina de vidrio evitando la formación de burbujas de aire, se colocó la mezcla asfáltica anteriormente colocada en una bandeja en reposo y a temperatura ambiente.

Finalmente se ensayó durante 15 minutos, se enrasó el frasco con la lámina de vidrio, evitando la formación de burbujas de aire, se secó y se pesó en conjunto.

Por consiguiente, para el cálculo de del peso específico máximo medido por el Método Rice se realizó con la Ec. 23:

$$GMM = \frac{A}{A + D - E} \quad (23)$$

Donde:

GMM: Peso específico máximo medido

A: Peso de la muestra

D: Peso del molde + agua

E: Peso del molde + muestra + agua

3) Fase 3

En la presente fase, se realizó el análisis comparativo de los valores obtenidos entre las mezclas asfálticas modificadas y la mezcla tradicional para determinar el grado de efectividad, por lo que se usó el método investigación comparativa ya que implicó la evaluación sistemática de dos o más variables para identificar similitudes y diferencias entre ellas. En este caso, se comparó los valores obtenidos de mezclas asfálticas modificadas con ceniza de cáscara de nuez y RAP con la mezcla tradicional para determinar la efectividad.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de forma cronológica, con el propósito de cumplir los objetivos planteados, a través de tres fases que se detallan a continuación.

1) Fase 1

Esta fase se refiere a la identificación del lugar de extracción de los materiales, como los agregados pétreos, cáscara de nuez y el pavimento asfáltico reciclado.

TABLA V

UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Ubicación del sitio de extracción		
Material	Ubicación	Coordenadas
Agregados pétreos	Mina "ARIAS PRODUARIDOS CÍA LTDA."	N: 764857
		S: 9862298
		Altura: 2564 msnm



Fig. 15 Extracción de los materiales pétreos 3/4", 3/8" y Fino

Interpretación: Las coordenadas indicadas en la Tabla V corresponden a la ubicación precisa del sitio de extracción. En primer lugar, los agregados pétreos fueron extraídos de la mina "ARIAS PRODUARIDOS CÍA. LTDA.", situada en la calle Huapante, vía a Píllaro, en la parroquia Panzaleo, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.

TABLA VI

UBICACIÓN DEL SITIO DE EXTRACCIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)

Ubicación del sitio de extracción		
Material	Ubicación	Coordenadas
Pavimento asfáltico reciclado (RAP)	Av. 7 tratados	E: 763974
		N: 9852714
		Altura: 2,918 msnm



Fig. 16 Extracción del pavimento asfáltico reciclado (RAP)

Interpretación: En cuanto a las coordenadas presentadas en la Tabla VI, estas corresponden a la ubicación exacta del sitio de extracción del pavimento asfáltico reciclado (RAP), el cual fue obtenido de la Av. 7 tratados en la parroquia Montalvo en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, donde se encontraba en proceso de cambio de tuberías hidrosanitarias. Finalmente, la cáscara de nuez fue obtenido mediante la recolección y reciclaje de comercios de frutos secos.

2) Fase 2

Esta fase se refiere a los ensayos realizados para diseñar el pavimento flexible, en el cual se incorporaron parcialmente ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP). Además, se preparó una mezcla asfáltica tradicional para poder comparar los resultados obtenidos.

En primer lugar, se llevaron a cabo ensayos de caracterización en laboratorio a los agregados de la mina "ARIAS PRODUARIDOS CÍA. LTDA.", a la ceniza de cáscara de nuez y al pavimento asfáltico reciclado (RAP) para verificar que cumplieran con los estándares establecidos en la normativa y fueran adecuados para la fabricación de las mezclas asfálticas, utilizando la dosificación correcta. Finalmente, se compararon los valores obtenidos entre la mezcla asfáltica modificada y la mezcla asfáltica tradicional para evaluar su efectividad.

A continuación, se muestra el análisis de los resultados obtenidos:

a) Resultado del Ensayo de Pesos Unitarios: Agregado Grueso y Fino:

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA VII

RESULTADOS PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

Ensayo Pesos Unitarios	
Agregados	Peso Unitario (g/cm ³)
Pasan el tamiz 3/4	1,136
Pasan el tamiz 3/8	1,095
Pasan el tamiz #4	1,380

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en el Anexo 1.

El valor de los pesos unitarios se calculó utilizando la Ecuación (1).

Interpretación: Se determinó la densidad total de los agregados en estado seco, los cuales son necesarios para la dosificación de las mezclas y para realizar conversiones de masa/volumen en la aceptación de los materiales en la obra.

b) Resultado del Ensayo Granulométrico: Agregados Pétreos, Agregado Fino, Ceniza de cáscara de nuez y Pavimento asfáltico reciclado (RAP):

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA VIII

RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA. Y PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)

Ensayo Granulométrico				
Coeficiente	Materiales			
	Carpeta Asfáltica	RAP	Agregado Fino	CCN
D10	0.082	0.095	0.095	0.190
D30	0.9	0.750	0.30	0.550
D60	5.2	5.300	0.92	1.800
Cu	63.41	55.789	9.68	9.474
Cc	1.90	1.117	1.03	0.885
Módulo de Finura	--	--	2.84	3.34
Símbolo del grupo	GW	GW	SW	SP

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en los Anexos 2, 3 y 4.

El valor del Coeficiente de Uniformidad se obtuvo utilizando la ecuación (2), y el Coeficiente de Curvatura se calculó con la ecuación (3).

Interpretación: De acuerdo con las especificaciones técnicas MOP-001-F 2002, la Fig. 17 muestra que debe utilizarse una de las granulometrías especificadas en la Tabla I, lo que permite determinar el tipo de graduación de los materiales pétreos, así como las pautas para el uso y las aplicaciones específicas de la carpeta asfáltica.

Por otro lado, la Fig. 18 muestra la granulometría empleada en el diseño del pavimento asfáltico reciclado, estableciendo también la graduación de los materiales pétreos utilizados.

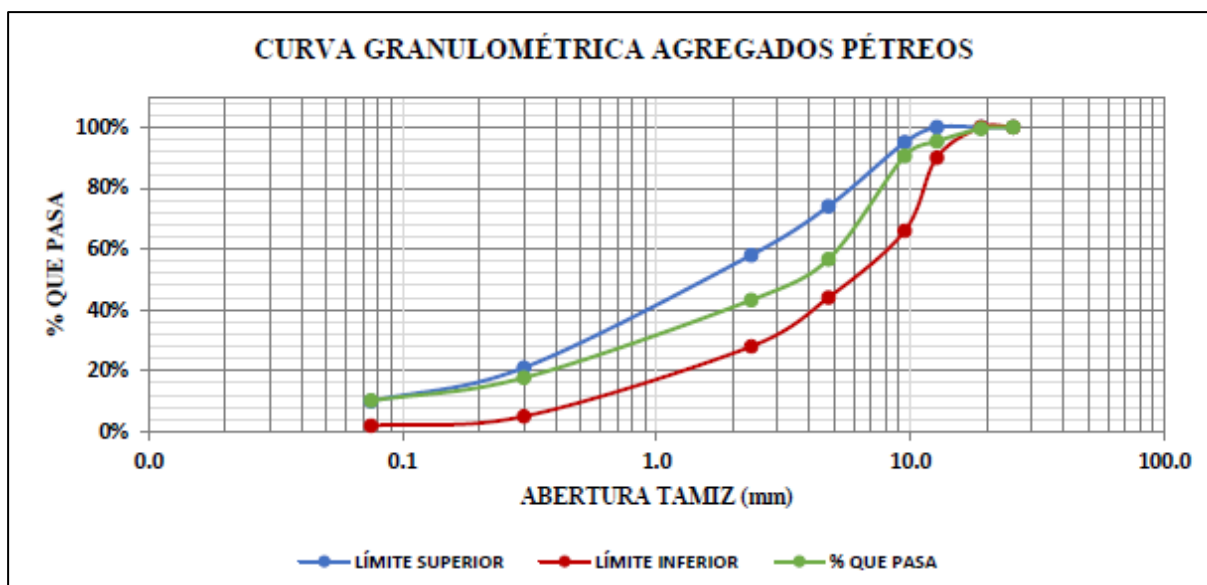


Fig. 17 Curva granulométrica - Agregados pétreos

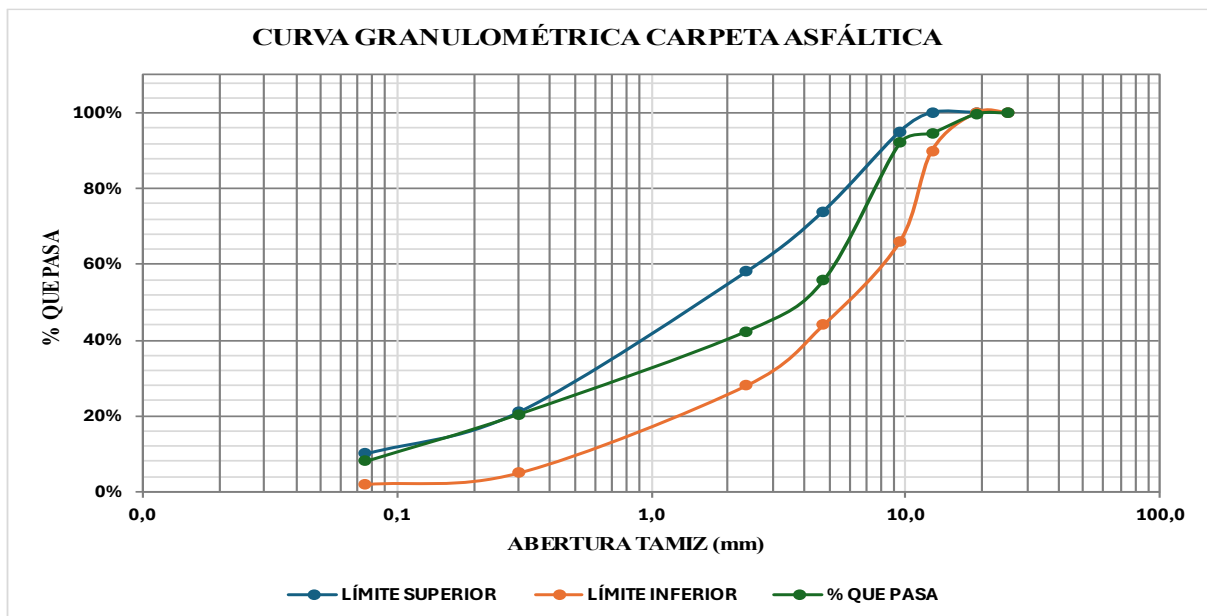


Fig. 18 Curva granulométrica – RAP

Por otro lado, según las normas SUCS y AASHTO para el agregado fino, la Fig. 19 muestra que al obtener los valores $C_u=9.68$ y $C_c=1.03$, cumpliendo con el rango $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$, se

clasificó dicho suelo como una Arena limpia, bien graduada (SW). Además, el valor del módulo de finura fue de 2.84, lo que, de acuerdo con la normativa INEN 696, se encuentra dentro del rango permitido de $2.1 \leq MF \leq 3.1$.

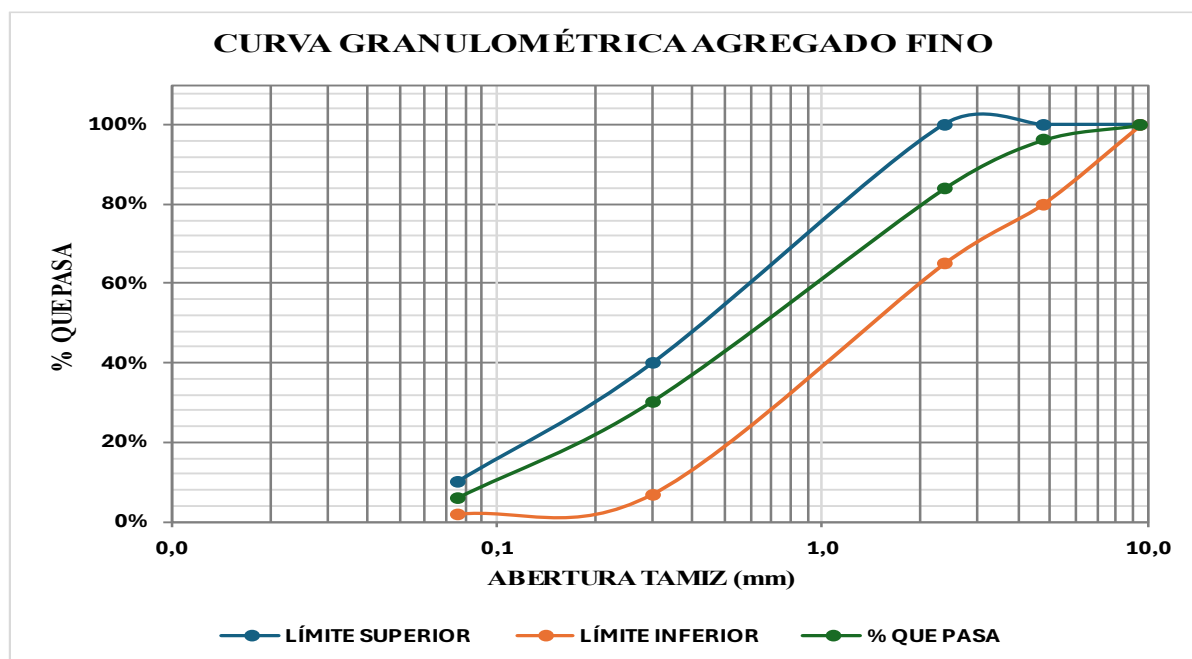
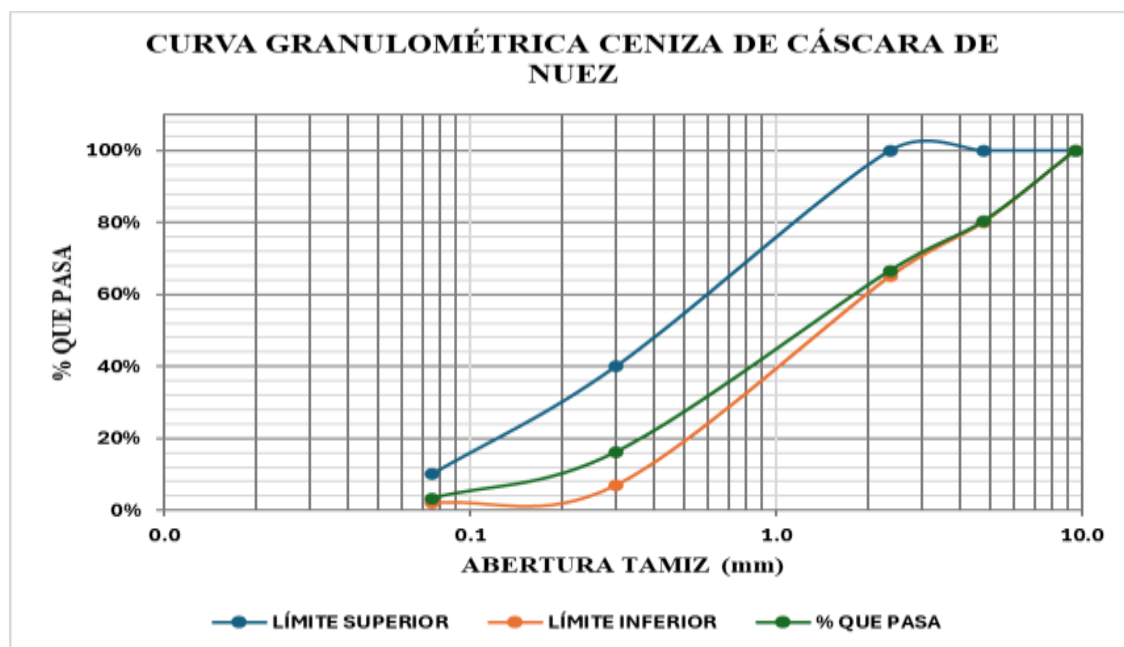


Fig. 19 Curva Granulométrica - Agregado Fino



Por lo tanto, al cumplir con los límites de la tabla granulométrica y los rangos establecidos, los agregados fueron adecuados para la preparación de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP), así como para la mezcla tradicional.

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

En el presente ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA IX

RESULTADOS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Ensayo de Contenido de Humedad		
Agregado	Contenido de Humedad	Unidad
Fino	4.45	%

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en el Anexo 5.

Interpretación: La Tabla IX muestra que se obtuvo un valor de contenido de humedad de 4.45%. Este dato es relevante, ya que se utilizó para corregir la humedad de la granulometría en la fórmula maestra para la carpeta asfáltica.

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

En el presente ensayo, se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA X

RESULTADOS RESISTENCIA A LA ABRASIÓN AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS
PRODUARIDOS CÍA. LTDA.”

Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión		
Agregado	Método	Desgaste del agregado (%)
Grueso	B	21,8
Intermedio	C	23,1
Porcentaje desgaste PROMEDIO		22,45

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en el Anexo 6.

El valor del porcentaje de desgaste se calculó utilizando la Ecuación (4).

Interpretación: La Tabla X muestra que el porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso e intermedio fue de 21.8 y 23.1, respectivamente. Según la norma INEN 860, para las carpetas asfálticas, la resistencia al desgaste por abrasión debe ser $\leq 40\%$ en las capas de rodadura. Al obtener un desgaste promedio de 22.45%, el material presenta una excelente resistencia al desgaste, lo que lo hace altamente duradero y adecuado para su uso en el diseño de la mezcla asfáltica.

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

En el presente ensayo, se obtuvo al siguiente resultado:

TABLA XI

RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MINA “ARIAS
PRODUARIDOS CÍA. LTDA.”

Ensayo de Gravedad Específica Agregados Pétreos		
Agregado	Peso específico Aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
Grueso	2.550	3.452
Intermedio	2.547	4.528
Fino	2.668	1.750
Gravedad específica Promedio	2.588 (g/cm ³)	

Los resultados detallados en este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 7.

El valor del Peso Específico Aparente y el Porcentaje de Absorción (%) se calculó utilizando las ecuaciones Ecuación (5) a (8) para el agregado grueso e intermedio, y las ecuaciones (9) a (12) para el agregado fino, según corresponda.

Interpretación: Debido a que en las especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002 no se especifica un rango determinado para los agregados, los resultados obtenidos en la Tabla XI no requieren verificación y se consideraron válidos para el diseño de la mezcla asfáltica.

Por lo tanto, al tomar los valores del Peso Específico Aparente de los agregados grueso $D=2.550 \text{ g/cm}^3$, intermedio $D=2.547 \text{ g/cm}^3$ y fino $D=2.668 \text{ g/cm}^3$, se obtuvo un peso específico promedio de los agregados para el diseño de $G_{\text{agredado}}=2.588 \text{ g/cm}^3$, valor que se utilizó en el diseño de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall.

f) Resultado del Ensayo Gravedad específica: Ceniza de cáscara de nuez:

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA XII

RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ

Ensayo de Gravedad Específica Ceniza de cáscara de nuez		
Agregado	Peso específico Aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
Fino	2.943	21.17

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en el Anexo 8.

El valor del Peso Específico Aparente y el Porcentaje de Absorción (%) para un material fino se calcularon utilizando las ecuaciones (9) a (12), respectivamente.

Interpretación: Debido a que en las especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002 no se establece un rango específico para los agregados, el resultado obtenido en la Tabla XII no

requiere verificación y se consideró válido para el diseño de la mezcla asfáltica. Se utilizó el valor del peso específico aparente de la ceniza de cáscara de nuez $G_s=2.943 \text{ g/cm}^3$.

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

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA XIII

RESULTADOS PORCENTAJE DE ASFALTO DEL RAP

Ensayo de Centrifugado – RAP	
Peso del asfalto en la muestra (g)	Porcentaje de Asfalto (%)
983.8	5.41

Los resultados de este ensayo se pueden consultar en el Anexo 9.

Interpretación: El valor del porcentaje de asfalto determinado en la Tabla XIII muestra que el pavimento asfáltico reciclado contiene un 5.41% de AC-20. Esto indica que el asfalto fue dosificado con este porcentaje, y dicho valor se tuvo en cuenta para la incorporación de este material en la mezcla asfáltica modificada del presente proyecto.

h) Datos recopilados sobre la implementación de ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP) en mezclas asfálticas:

Para la determinación de los porcentajes a usar en el presente trabajo investigativo se procedió a la recopilación de datos para su incorporación, los cuales se presentan a continuación en la Tabla XIV y Tabla XV.

TABLA XIV

DATOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Estudio	Resultados	Unidad	Fuente
Implementación	7,10 y 13	%	Propia
Porcentaje Óptimo	10 y 15	%	[21]
Reemplazo	Agregado Fino	%	[21]

TABLA XV

DATOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Estudio	Resultados	Unidad	Fuente
Implementación	≤ 30	%	[21]
Reemplazo	Agregado 3/8"	%	[21]

Interpretación: Debido a la falta de datos de investigaciones relacionadas con la implementación de pavimento asfáltico reciclado junto con ceniza de cáscara de nuez, se

decidió buscar información sobre el uso individual de distintos materiales reciclados. Por lo tanto, los datos presentados en la Tabla XIV y Tabla XV establecen una base para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada en este trabajo investigativo.

i) Fórmula Maestra para la Mezcla asfáltica Tradicional:

Una vez que se determinaron las propiedades de los materiales y se verificó que cumplieran con la normativa y especificaciones correspondientes, se elaboró la fórmula maestra para establecer los porcentajes de agregados para la mezcla asfáltica tradicional.

TABLA XVI

FÓRMULA MAESTRA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Fórmula Maestra de la Mezcla asfáltica Tradicional				
Materiales	5.50% AC - 20	6.00% AC - 20	6.50% AC - 20	Unidad
Agregado Grueso 3/4"	515,9	513,2	510,5	g
Agregado Intermedio 3/8"	1900,9	1890,8	1880,7	g
Agregado Fino	2308,2	2296,0	2283,8	g
Emulsión Asfáltica	275	300	325	g
TOTAL	5000	5000	5000	g

Interpretación: La cantidad en gramos indicada en la Tabla XVI se obtuvo utilizando la fórmula principal, sumando los agregados pétreos provenientes de la mina "ARIAS PRODUARIDOS CÍA. LTDA."

Así, cada briqueta incluye la mezcla de las cantidades requeridas de cada tamaño de agregado y emulsión asfáltica para lograr un peso total de 5000 gramos que equivalen para la preparación de 4 briqueta de 1200 gr c/u s, las cuales 3 son para realización de ensayos Marshall y 1200 gr de muestra para la realización de Ensayo RICE con 200 gr de desperdicio.

j) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Tradicional:

Este ensayo se llevó a cabo con los porcentajes de 5.5%, 6.0% y 6.5% de AC – 20 para cada mezcla asfáltica, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA XVII

RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica Tradicional	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.40
6.00%	2.39
6.50%	2.35

Los resultados específicos de este ensayo se encuentran en el Anexo 10. El valor de Rice para cada porcentaje de AC – 20 se calculó utilizando la ecuación (24).

Interpretación: Según la normativa ASTM D 2041, el rango del peso específico Rice debe estar entre 2.3 y 2.5. Los valores presentados en la Tabla XVII indican que la densidad teórica de la mezcla, sin tener en cuenta los vacíos de aire, muestra una proporción adecuada de asfalto y agregados, lo que garantiza su compactación y durabilidad.

k) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP :

TABLA XVIII

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 7.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10.00% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.32
6.00%	2.60
6.50%	2.19

Interpretación: Según la normativa ASTM D 2041, el rango del peso específico Rice debe estar entre 2.3 y 2.5. Los valores presentados en la Tabla XVIII indican que la densidad teórica de la mezcla con 5.5%, sin tener en cuenta los vacíos de aire, muestra una proporción adecuada de asfalto y agregados, lo que garantiza su compactación y durabilidad. Mientras que los porcentajes de 6.0% y 6.5% no cumplen con los parámetros.

l) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP:

TABLA XIX

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 10.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20.00% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.17
6.00%	2.29
6.50%	2.23

Interpretación: Según la normativa ASTM D 2041, el rango del peso específico Rice debe estar entre 2.3 y 2.5. Los valores presentados en la Tabla XIX indican que la densidad teórica de la mezcla, sin tener en cuenta los vacíos de aire, no cumple con proporción adecuada de asfalto y agregados, lo que no garantiza su compacidad y durabilidad.

m) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP:

TABLA XX

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA 5.5%, 6.0% Y 6.5% AC - 20, 13.00% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30.00% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP	
Porcentaje de AC-20	Resultado Rice
5.50%	2.23
6.00%	2.37
6.50%	1.77

Interpretación: Según la normativa ASTM D 2041, el rango del peso específico Rice debe estar entre 2.3 y 2.5. Los valores presentados en la Tabla XXI indican que la densidad teórica de la mezcla con 6.0%, sin tener en cuenta los vacíos de aire, muestra una proporción adecuada de asfalto y agregados, lo que garantiza su compacidad y durabilidad. Mientras que los porcentajes de 5.5% y 6.5% no cumplen con los parámetros.

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

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA XXI

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)	2.280	2.272	2.262
Índice de vacíos con aire	4.983	4.804	3.923
Vacíos en agregados minerales (%)	14.736	15.475	16.317
Estabilidad en libras (lb)	4036	5696	4572
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	10.77	13.15	13.00
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	66.18	68.95	75.95

Los resultados detallados de este ensayo se encuentran en el Anexo 12. Los valores calculados se obtuvieron utilizando las ecuaciones (14) a (23) respectivamente.

Interpretación: Los resultados con un 5.5% y 6.0 % de AC – 20 presentados en la Tabla XVIII cumplen con las especificaciones de la Tabla IV, que establece los criterios de diseño para mezclas Marshall según el MOP-001-F 2002. Esto significa que la mezcla asfáltica garantiza la estabilidad, flexibilidad y durabilidad necesarias para soportar cargas de tráfico y condiciones ambientales.

Por otro lado, el porcentaje de 6.5% de AC – 20 no cumple con todos los criterios Marshall, ya que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto son un poco elevados, superando los límites máximos y mínimos establecidos en la Tabla IV.

o) Resultados de “Contenido Óptimo de AC – 20”: Mezcla Asfáltica Tradicional:

Para determinar el contenido óptimo de AC – 20, se consideran tres curvas representadas en los gráficos, según el siguiente detalle:

- El porcentaje de AC – 20 para alcanzar la máxima densidad o peso específico.
- El porcentaje de AC – 20 correspondiente al 4% del índice de vacíos.
- El porcentaje de AC – 20 que representa la máxima estabilidad.

Así, mediante el promedio de estos tres porcentajes, se determinó el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar en la mezcla asfáltica tradicional, siempre y cuando se hayan cumplido los criterios Marshall establecidos en la Tabla IV.

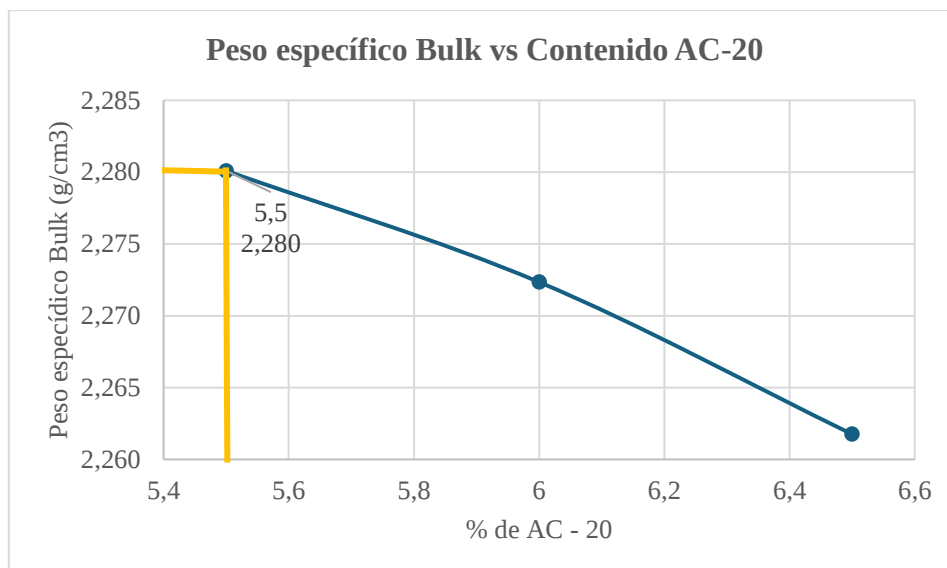


Fig. 20 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima densidad es del 5.50%, lo que indica que la densidad Bulk aumenta a medida que disminuye el contenido de asfalto. Esto produce una densidad adecuada, demostrando que la mezcla ha sido correctamente compactada, lo cual es fundamental para la durabilidad y resistencia a la deformación del pavimento, como se muestra en la Fig. 20.

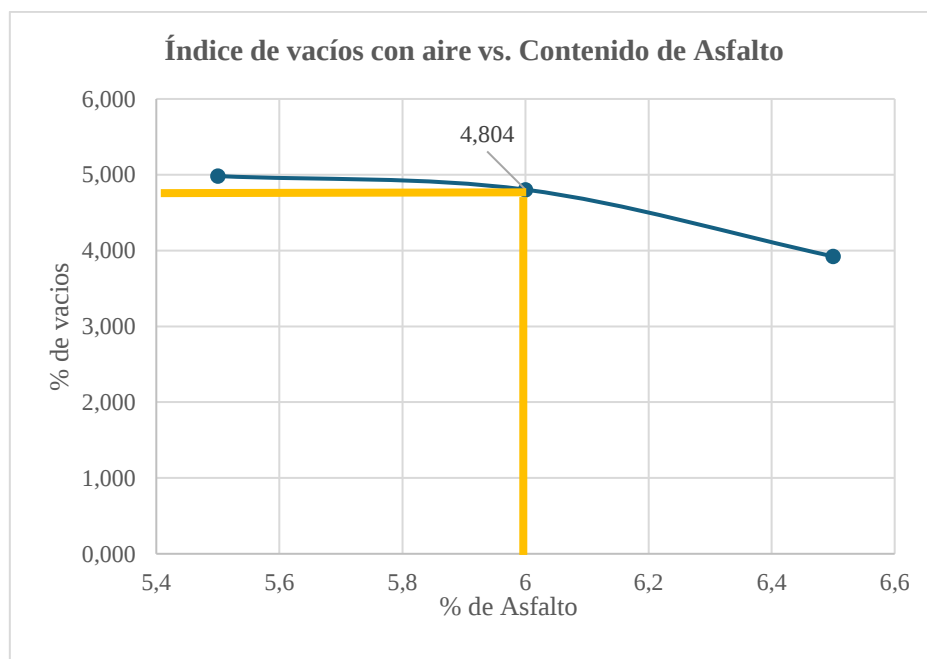


Fig. 21 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 para un índice de vacíos con aire del 4.98% es del 6.00 %, lo que indica que los vacíos con aire disminuyen a medida que se incrementa el contenido de asfalto.

Esto da como resultado una mezcla que mantiene el contenido de asfalto dentro de un rango adecuado, asegurando un índice de vacíos con aire adecuado y evitando problemas como la segregación de la mezcla y la falta de cohesión, como se muestra en la Fig. 21.

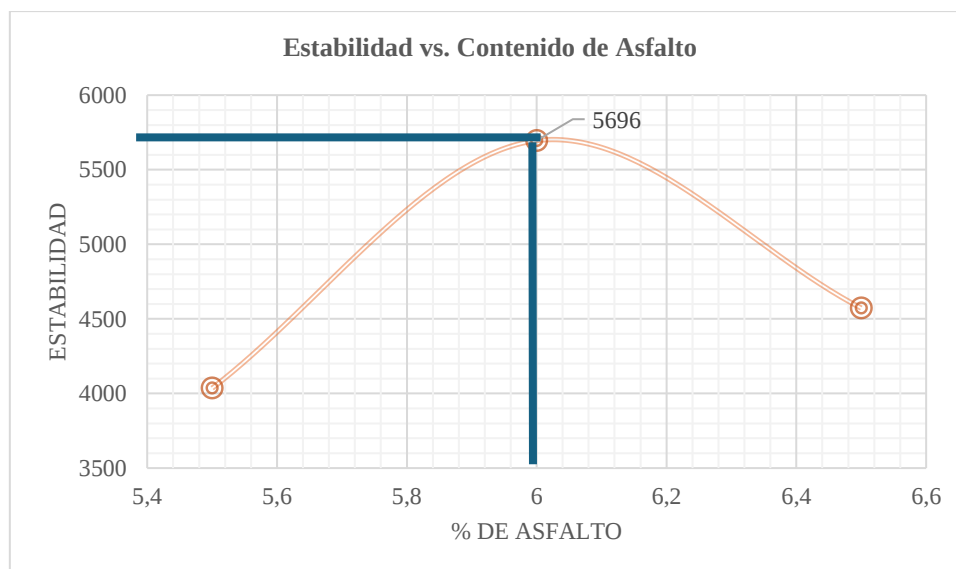


Fig. 22 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Tradicional

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima estabilidad es del 6.00%, lo que indica que la estabilidad aumenta hasta un cierto punto, produciendo una mezcla capaz de resistir las cargas de tráfico sin deformarse, como se muestra en la Fig. 22.

TABLA XXII

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.50
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.0
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.0
Contenido óptimo de AC – 20	5.83

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 es igual a 5.83%.

Además, se analizaron las siguientes relaciones utilizando el porcentaje óptimo de asfalto:

- Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de AC – 20
- Flujo o Deformación vs. Contenido de AC – 20
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de AC – 20

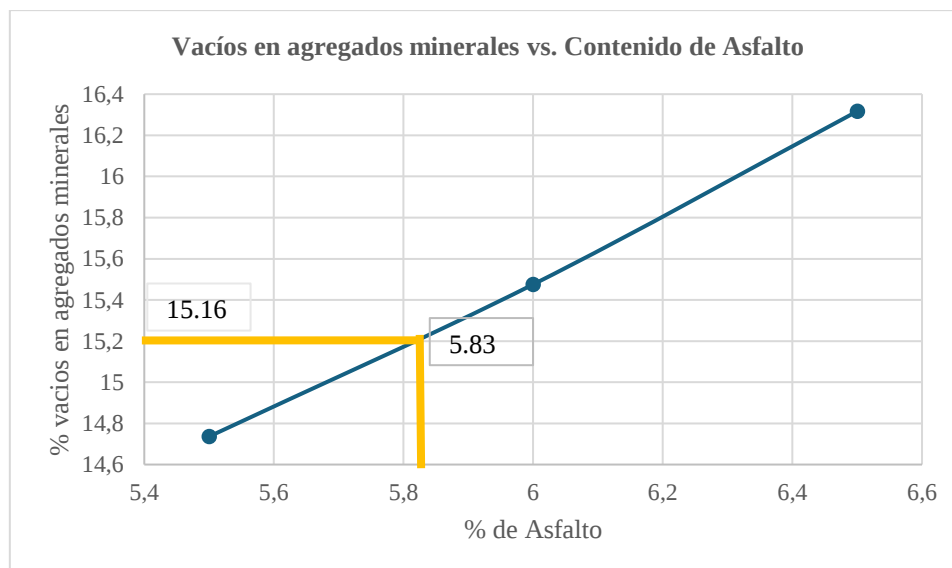


Fig. 23 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó que los vacíos en agregados minerales tienen un valor de 15.16%, lo que indica que el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye a medida que se incrementa el contenido de asfalto. Esto da lugar a una mezcla que asegura suficiente espacio para el asfalto y los vacíos de aire, contribuyendo a la durabilidad y resistencia a la deformación de la mezcla, como se muestra en la Fig. 23.

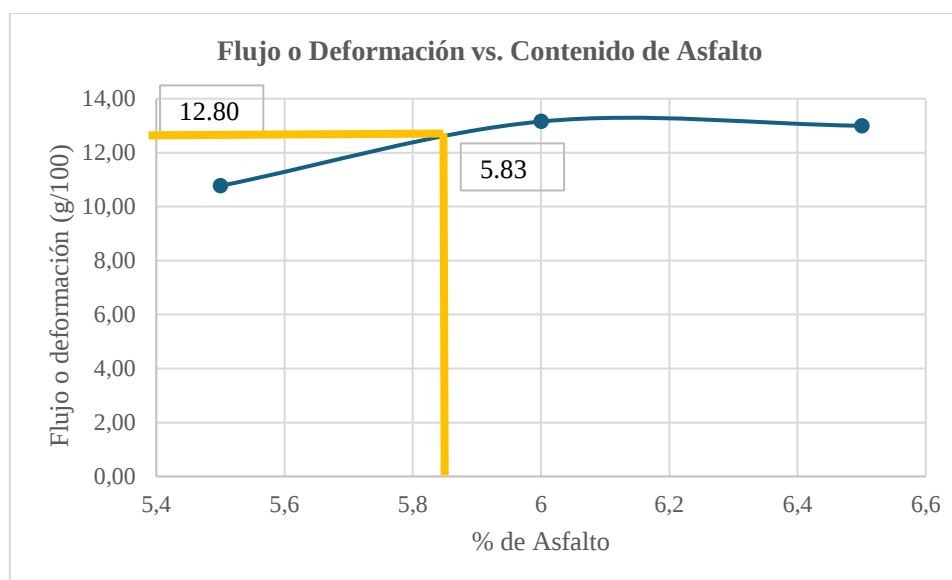


Fig. 24 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó que el flujo o deformación tiene un valor de 12.80, lo que indica que el flujo aumenta a medida que se incrementa el contenido de asfalto. Esto da como resultado una mezcla que alcanza un

equilibrio entre rigidez y flexibilidad, es decir, una mezcla que no es tan rígida (lo que podría provocar agrietamiento) ni excesivamente blanda (lo que podría generar deformaciones permanentes bajo carga), como se muestra en la Fig. 24.

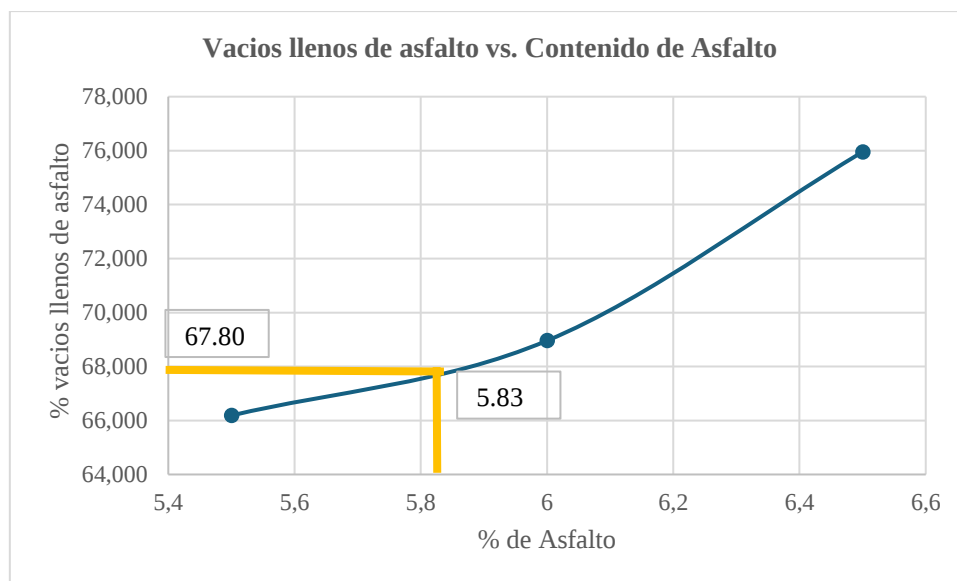


Fig. 25 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20 se determinó para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto un valor de 67.8.0%, indicando que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta al incrementarse el contenido de asfalto, debido a que más asfalto está disponible para llenar los vacíos en los agregados, produciendo una mezcla que asegura tener suficiente asfalto para proporcionar cohesión y resistencia, pero no tanto como para causar problemas de estabilidad, como se observa en la Fig. 25.

p) Alternativas usadas para el diseño de mezcla asfáltica con sustitución parcial de Ceniza de cáscara de nuez y Pavimento asfáltico reciclado (RAP):

Para el diseño de la mezcla asfáltica, se añadió ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP), junto con los contenidos óptimos de AC – 20 de 5.5%, 6.0% y 6.5%.

La ceniza de cáscara de nuez sustituyó parcialmente al agregado fino, pasando a través del tamiz N° 4 y siendo retenido en el tamiz N° 8. Por otro lado, el RAP sustituyó parcialmente al agregado intermedio 3/8", pasando a través del tamiz 1/2" y siendo retenido en el tamiz N° 4.

Los porcentajes utilizados en la fórmula maestra son los siguientes:

TABLA XXIII

ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla asfáltica Modificada				
7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP				
Materiales	5.50% AC – 20	6.00% AC – 20	6.50% AC – 20	Unidad
Agregado Grueso 3/4"	515.9	513.22	510.5	g
Agregado Intermedio 3/8"	1710.8	1701.72	1692.67	g
Agregado Fino	2146.6	2135.3	2123.9	g
Ceniza de cáscara de nuez	161.6	160.7	159.9	g
RAP	184.7	183.7	182.7	g
Emulsión Asfáltica	275.0	300.0	325.0	g
TOTAL	4994.59	4994.6	4994.6	g

TABLA XXIV

ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla asfáltica Modificada				
10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP				
Materiales	5.50% AC – 20	6.00% AC – 20	6.50% AC – 20	Unidad
Agregado Grueso 3/4"	515.9	513.22	510.5	g
Agregado Intermedio 3/8"	1520.7	1512.64	1504.60	g
Agregado Fino	2077.4	2066.4	2055.4	g
Ceniza de cáscara de nuez	230.8	229.6	228.4	g
RAP	374.8	372.8	370.7	g
Emulsión Asfáltica	275.0	300.0	325.0	g
TOTAL	4994.59	4994.6	4994.6	g

TABLA XXV

ALTERNATIVAS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP

Fórmula Maestra de la Mezcla asfáltica Modificada				
13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP				
Materiales	5.50% AC – 20	6.00% AC – 20	6.50% AC – 20	Unidad
Agregado Grueso 3/4"	515.9	513.22	510.5	g
Agregado Intermedio 3/8"	1330.6	1323.56	1316.52	g
Agregado Fino	2008.1	1997.5	1986.9	g
Ceniza de cáscara de nuez	300.1	298.5	296.9	g
RAP	564.9	561.8	558.8	g

Emulsión Asfáltica	275.0	300.0	325.0	g
TOTAL	4994.59	4994.6	4994.6	g

Interpretación: Los datos presentados en las Tablas XXIV, XXV y XXVI muestran la cantidad, expresada en gramos, de los materiales que se incorporan a cada mezcla asfáltica modificada. Estos materiales son el agregado pétreo proveniente de la mina "ARIAS PRODUARIDOS CÍA. LTDA.", ceniza de cáscara de nuez y RAP, los cuales se utilizan para formar briquetas con un peso total de 5000 gramos menos el contenido de asfalto de cada modificación.

n) Resultados Ensayo Rice: Mezcla asfáltica Modificada:

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA XXVI

RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica Modificada 7% Ceniza De Cáscara De Nuez Y 10% Rap	
Porcentaje de AC - 20	Resultado Rice
5.50%	2.32
6.00%	2.60
6.50%	2.19

TABLA XXVII

RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica Modificada 10% Ceniza De Cáscara De Nuez Y 20% Rap	
Porcentaje de AC - 20	Resultado Rice
5.50%	2.17
6.00%	2.29
6.50%	2.23

TABLA XXVIII

RESULTADOS ENSAYO RICE – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP

Ensayo Rice – Mezcla asfáltica Modificada 13% Ceniza De Cáscara De Nuez Y 30% Rap	
Porcentaje de AC - 20	Resultado Rice
5.50%	2.23
6.00%	2.37
6.50%	1.77

Los resultados obtenidos en este ensayo están disponibles en el Anexo 11. El valor de Rice para cada porcentaje de AC-20 se calculó utilizando la ecuación (24).

Interpretación: Algunos valores del ensayo Rice presentados en las Tablas XXVII, XXVIII y XXIX con un porcentaje parcial de ceniza de cáscara de nuez y RAP, no se ajustan a la normativa ASTM D 2041. Según esta norma, el peso específico debe estar entre 2.3 y 2.5, lo que indica que la densidad teórica de la mezcla, sin considerar los vacíos de aire, presenta una proporción no adecuada entre asfalto y agregados. Esto no asegura que la mezcla tenga la compactación y durabilidad necesarias.

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

TABLA XXIX

RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Asfalto Modificado con 7.00% Ceniza de cáscara de nuez 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 (gr/cm ³)	2.113	2.100	2.303
Índice de vacíos con aire	9.002	19.215	5.167
Vacíos en agregados minerales (%)	20.980	21.901	23.059
Estabilidad en libras (lb)	3603	3722	3803
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	12.11	13.24	13.87
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	57.094	12.264	77.592

TABLA XXX

RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Asfalto Modificado con 10.00% Ceniza de cáscara de nuez 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 (gr/cm ³)	2.335	2.319	2.303
Índice de vacíos con aire	10.659	21.820	5.544

Vacíos en agregados minerales (%)	22.419	24.419	23.365
Estabilidad en libras (lb)	3594	3914	4257
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	12.65	12.81	10.80
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	52.456	10.644	76.270

TABLA XXXI

RESULTADO DE LAS PROPIEDADES MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Asfalto Modificado con 13.00% Ceniza de cáscara de nuez 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 (gr/cm ³)	2.020	1.957	2.010
Índice de vacíos con aire	12.997	24.712	8.338
Vacíos en agregados minerales (%)	24.450	27.224	25.631
Estabilidad en libras (lb)	3572	3210	3774
Flujo o Deformación en centésimas de pulgada (pul/100)	15.39	13.00	13.72
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	46.840	9.1939	67.471

Los resultados completos de este ensayo se encuentran en el Anexo 13. Los valores calculados se obtuvieron utilizando las ecuaciones (14) a (23), respectivamente.

Interpretación: El resultado correspondiente al 5.5%, 6.0% y 6.5% de todas las modificaciones de RAP y Ceniza de cáscara de nuez, presentado en las Tablas XXX, XXXI y XXXII, no cumplen con las especificaciones de la Tabla IV, que establece los criterios de diseño para mezclas Marshall según el MOP-001-F 2002. Esto significa que la mezcla asfáltica no garantiza la estabilidad, flexibilidad y durabilidad necesarias para resistir las cargas de tráfico y las condiciones ambientales. Esto se debe a que los porcentajes de vacíos de aire y vacíos llenos de asfalto están fuera de los límites máximos y mínimos establecidos en la Tabla IV. Específicamente, un exceso de vacíos de aire impide que la mezcla se compacte adecuadamente, dejando espacios vacíos en exceso. Además, un bajo porcentaje de vacíos llenos de asfalto indica que el asfalto no llena correctamente los huecos dentro de la mezcla, lo que reduce la adhesión y la capacidad de absorción de la ceniza de cáscara de nuez y la rigidez del pavimento asfáltico reciclado (RAP).

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

Para determinar el contenido ideal de AC – 20, se consideran tres curvas mostradas en los gráficos, según los siguientes aspectos:

- 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 calcula como el promedio de estos tres valores, siempre que se hayan cumplido los criterios Marshall especificados en la Tabla IV. Las figuras siguientes se obtuvieron considerando el porcentaje de Ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado parcialmente incorporado a la mezcla asfáltica modificada.

- **Mezcla asfáltica Modificada – 7.00% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP**

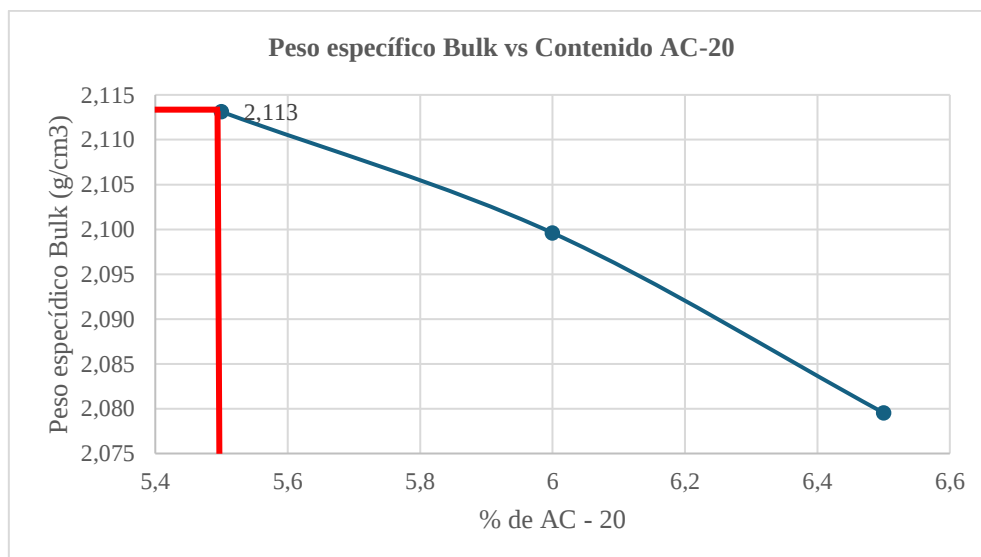


Fig. 26 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Se concluyó que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima densidad es del 5.50%. Esto significa que a medida que disminuye el contenido de asfalto, la densidad Bulk se incrementa, lo que resulta en una densidad adecuada y demuestra que la mezcla ha sido correctamente compactada. Este proceso es fundamental para garantizar la durabilidad y la resistencia a la deformación del pavimento, como se puede observar en la Fig. 26.

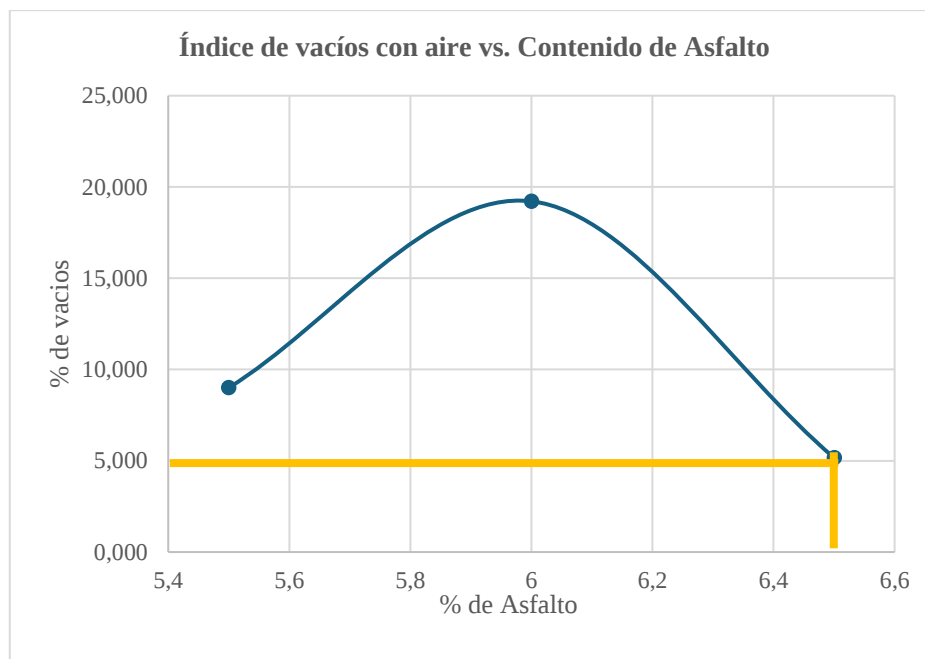


Fig. 27 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para un 5.16 % de índice de vacíos con aire es del 6.50%. Esto sugiere que a medida que se incrementa el contenido de asfalto, los vacíos con aire disminuyen, resultando en una mezcla que sale un poco del rango máximo admitido más cercano al índice adecuado de vacíos con aire. De esta forma, se evitan problemas como la segregación de la mezcla y la falta de cohesión, como se puede observar en la Fig. 27.

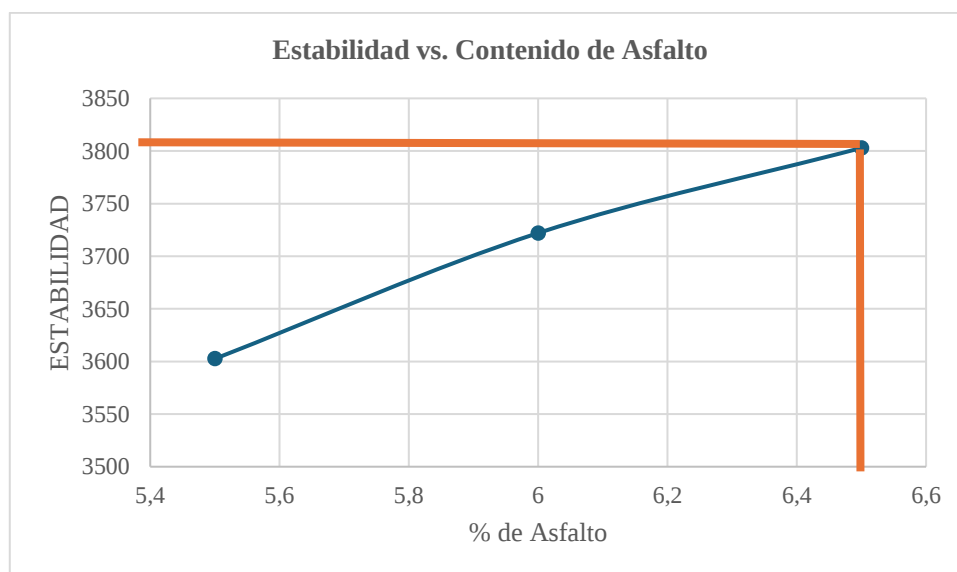


Fig. 28 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima estabilidad es del 6.5%. Esto indica que la estabilidad aumenta a medida que incrementa el % de asfalto, lo que produce una mezcla capaz de soportar las cargas de tráfico sin sufrir deformaciones, como se observa en la Fig. 28.

TABLA XXXII

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.5
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.5
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.5
Contenido óptimo de AC – 20	6.167

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 es del 6.17%. Además, se analizaron las siguientes relaciones utilizando el porcentaje óptimo de asfalto:

- Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de AC – 20
- Flujo o Deformación vs. Contenido de AC – 20
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de AC – 20

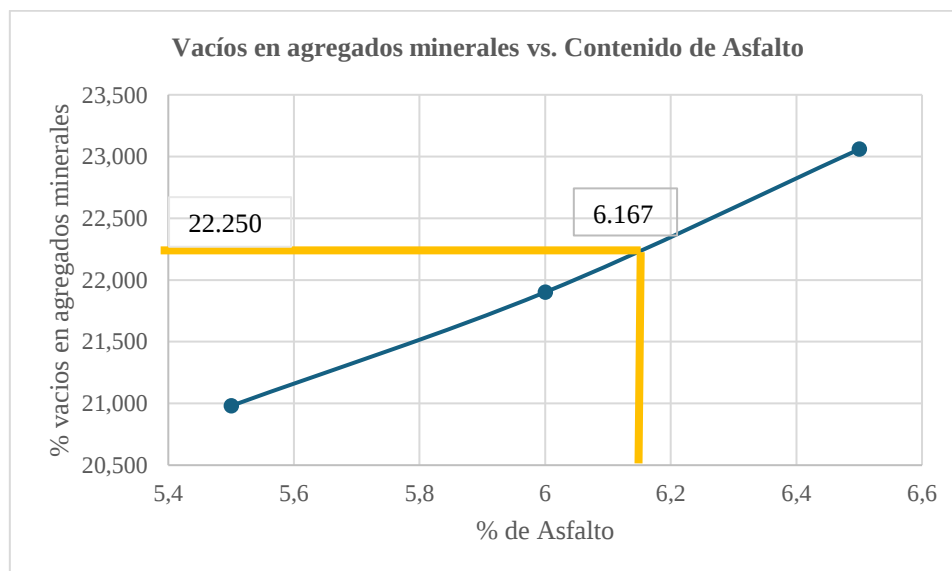


Fig. 29 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se obtuvo un valor de 22.250% para los vacíos en agregados minerales. Esto indica que a medida que aumenta el contenido de asfalto, el porcentaje de vacíos con agregados minerales también, lo que resulta en una mezcla que no asegura suficiente espacio tanto para el asfalto como para los vacíos de aire. Este balance

contribuye a la falta de durabilidad y resistencia a la deformación de la mezcla, como se puede observar en la Fig. 29.

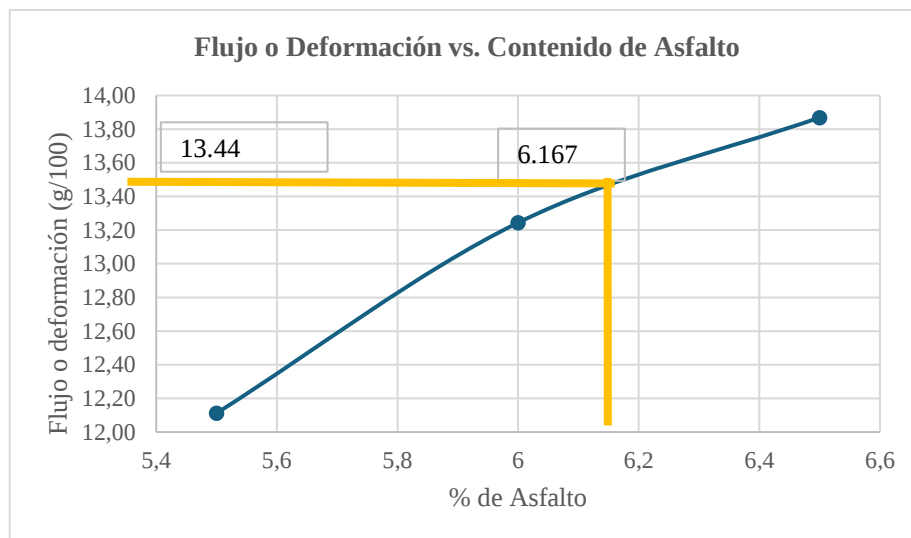


Fig. 30 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se obtuvo un valor de 13.44 pulg/100 para el flujo o deformación. Esto indica que el flujo aumenta al incrementarse el contenido de asfalto, lo que produce una mezcla que alcanza un equilibrio adecuado entre rigidez y flexibilidad. Es decir, se obtiene una mezcla que no es tan rígida como para causar agrietamiento, ni demasiado blanda como para generar deformaciones permanentes bajo carga, como se observa en la Fig. 30.

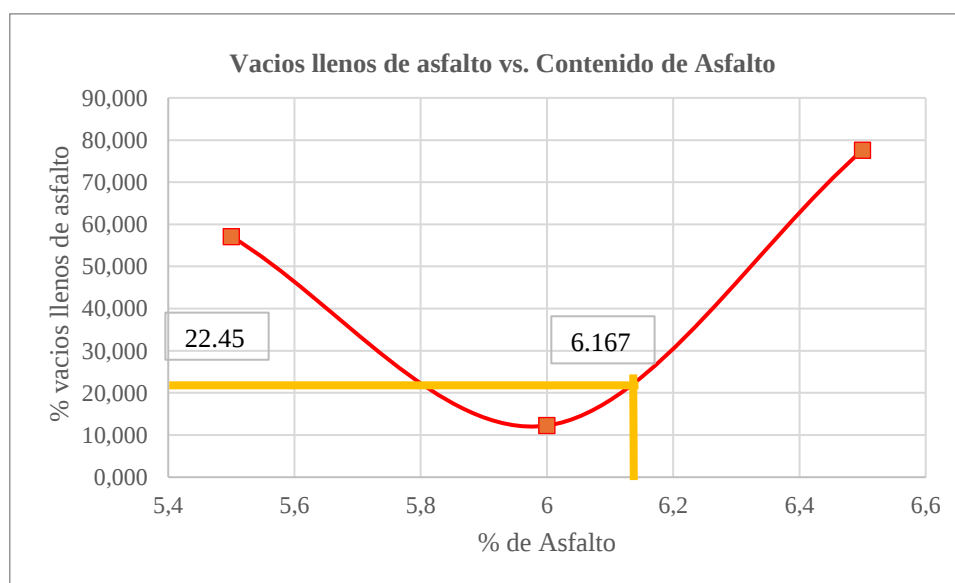


Fig. 31 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 7% ceniza de cáscara de nuez y 10% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 22.45% para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto. Esto indica que a medida que aumenta y disminuye el contenido de asfalto, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto también aumenta, ya que hay más asfalto disponible para llenar los vacíos en los agregados. Esto resulta en una mezcla que no garantiza suficiente asfalto para proporcionar cohesión y resistencia, que podría ocasionar problemas de estabilidad, como se observa en la Fig. 31.

- **Mezcla asfáltica Modificada – 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP**

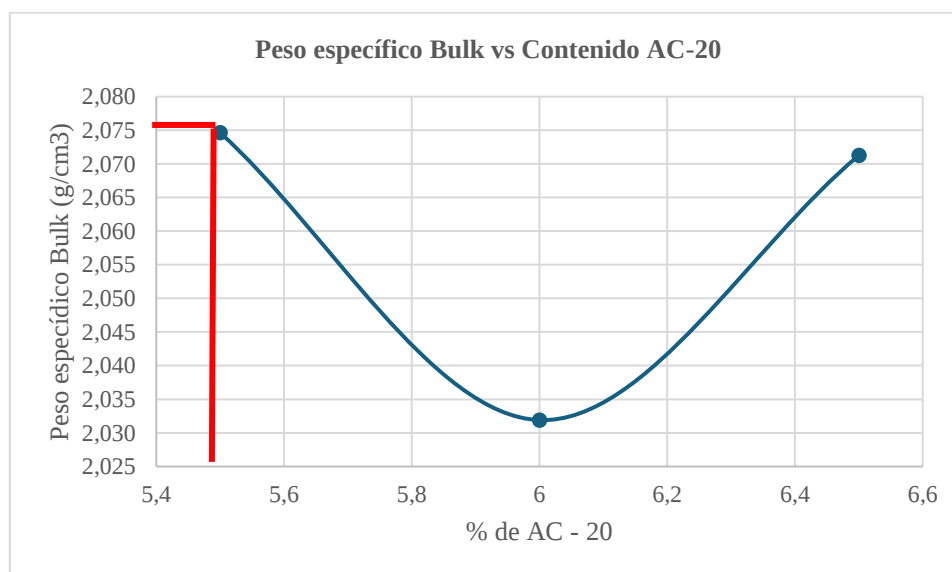


Fig. 32 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima densidad es del 5.50%. Esto significa que a medida que el contenido de asfalto disminuye o aumenta más del 6.0% , la densidad Bulk también se incrementa, lo que da como resultado una densidad adecuada y demuestra que la mezcla ha sido correctamente compactada. Este proceso es crucial para garantizar la durabilidad y la resistencia a la deformación del pavimento, como se puede observar en la Fig. 32.

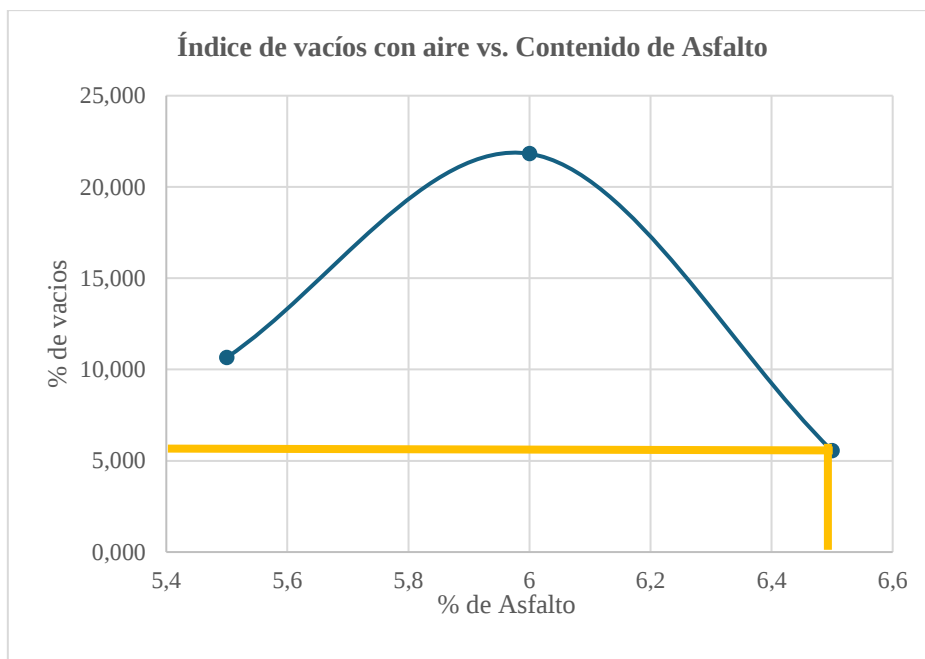


Fig. 33 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para un 6.5% de índice de vacíos con aire es del 5.54%. Esto indica que al aumentar el contenido de asfalto, los vacíos con aire disminuyen, lo que da como resultado una mezcla que mantiene el contenido de asfalto dentro de un rango que garantiza un índice adecuado de vacíos con aire. De esta manera, se evitan problemas como la segregación de la mezcla y la falta de cohesión, como se observa en la Fig. 33.

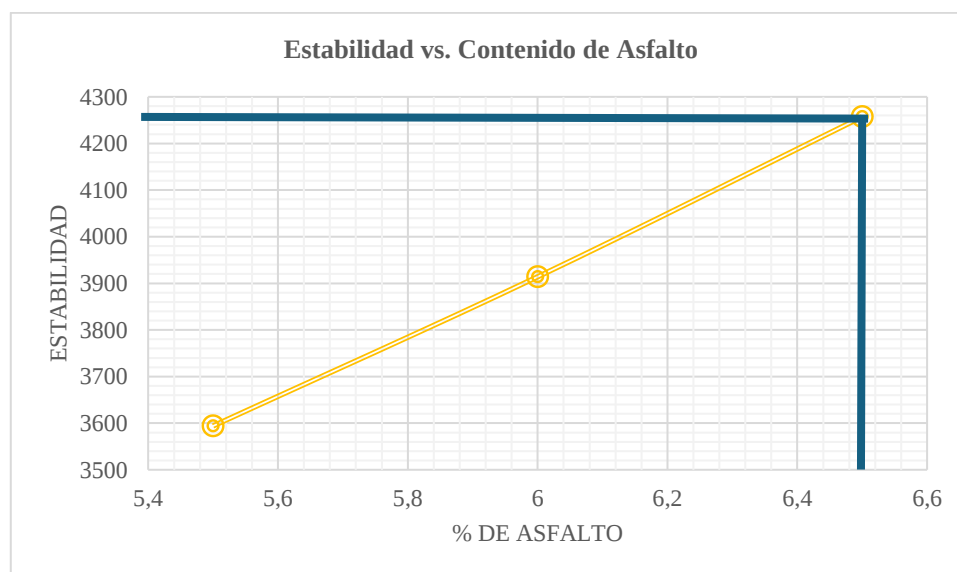


Fig. 34 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima estabilidad es del 6.50%. Esto indica que la estabilidad aumenta hasta un cierto límite, lo que genera una mezcla capaz de resistir las cargas de tráfico sin sufrir deformaciones, como se observa en la Fig. 34.

TABLA XXXIII

CONTENIDO ÓPTIMO DE AASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.5
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.5
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.5
Contenido óptimo de AC – 20	6.167

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 es del 6.167%. Además, se analizaron las siguientes relaciones utilizando el porcentaje óptimo de asfalto:

- Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de AC – 20
- Flujo o Deformación vs. Contenido de AC – 20
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de AC – 20

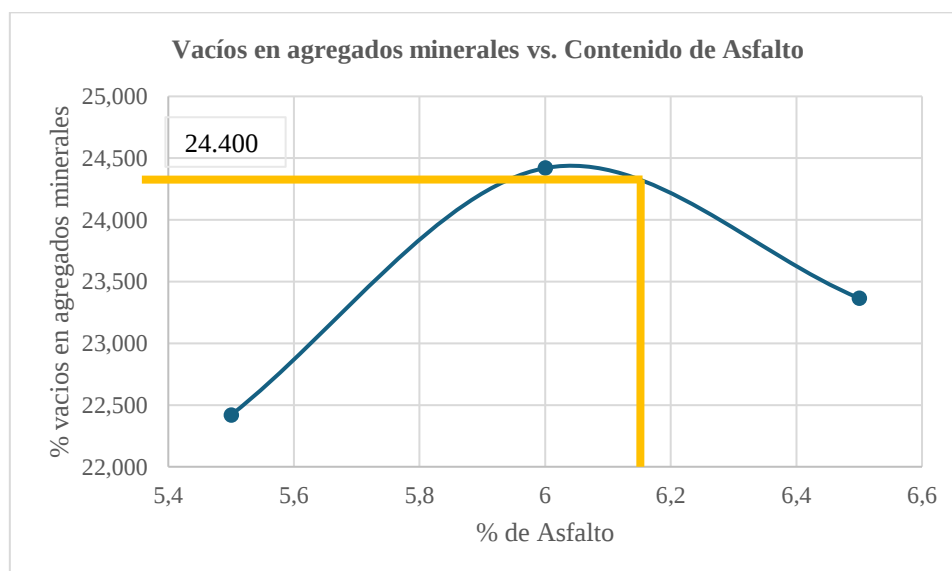


Fig. 35 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 24.400% para los vacíos en agregados minerales. Esto indica que al incrementar el contenido de asfalto, el porcentaje de vacíos con agregados minerales disminuye, lo que resulta en una mezcla que asegura suficiente espacio tanto para el asfalto como para los vacíos de aire. Este equilibrio

contribuye a la durabilidad y resistencia a la deformación de la mezcla, como se observa en la Fig. 35.

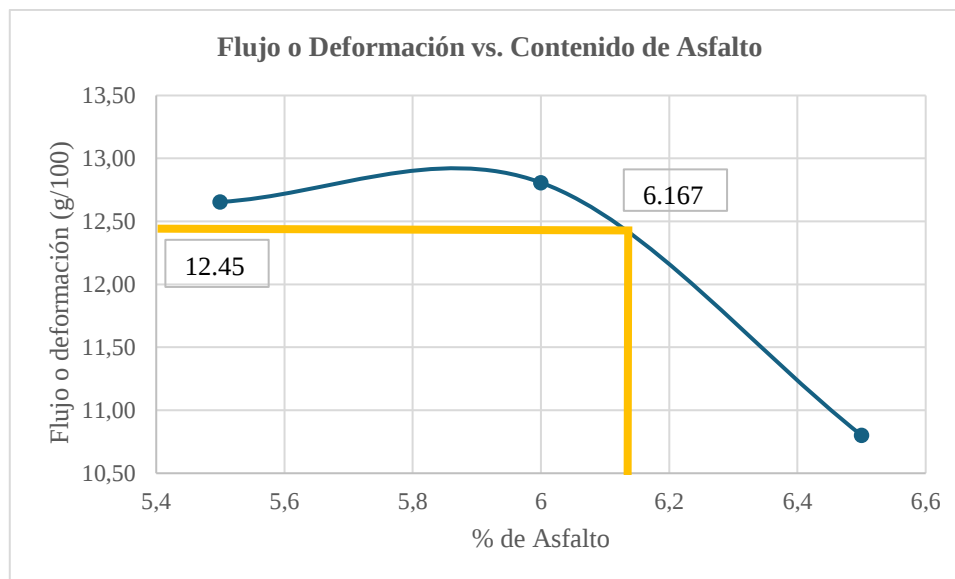


Fig. 36 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 12.45 para el flujo o deformación. Esto indica que al aumentar el contenido de asfalto, el flujo disminuye, lo que da como resultado una mezcla que no alcanza un equilibrio adecuado entre rigidez y flexibilidad. Es decir, la mezcla no asegura ser tan rígida como para causar agrietamiento, ni demasiado blanda como para generar deformaciones permanentes bajo carga, como se observa en la Fig. 36.

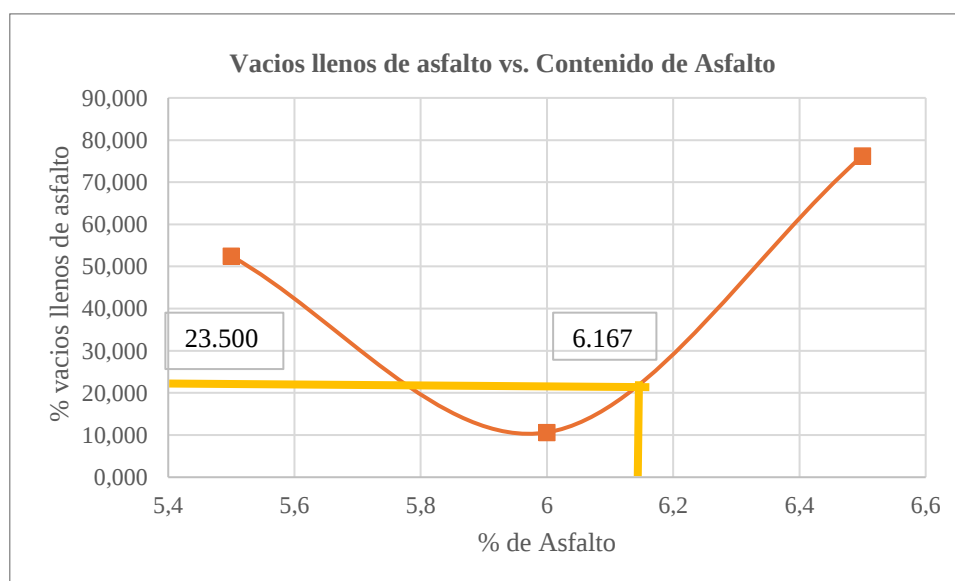


Fig. 37 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 10% ceniza de cáscara de nuez y 20% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20 se determinó para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto un valor de 23.500% lo que no llega al mínimo admitido, indicando que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta al incrementarse el contenido de asfalto, debido a que más asfalto está disponible para llenar los vacíos en los agregados, produciendo una mezcla que asegura tener suficiente asfalto para proporcionar cohesión y resistencia, pero no tanto como para causar problemas de estabilidad, como se observa en la Fig. 37.

- **Mezcla asfáltica Modificada – 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP**

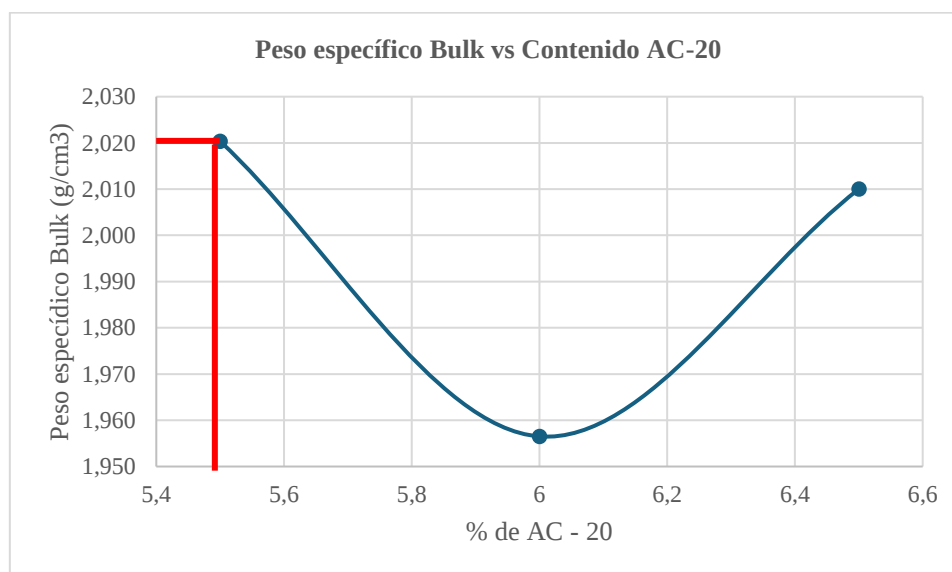


Fig. 38 Resultado Peso específico Bulk vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima densidad es del 5.50%. Esto sugiere que a medida que aumenta el contenido de asfalto, la densidad Bulk también aumenta, resultando en una densidad adecuada que demuestra que la mezcla ha sido correctamente compactada. Este proceso es fundamental para asegurar la durabilidad y la resistencia a la deformación del pavimento, como se observa en la Fig. 38.

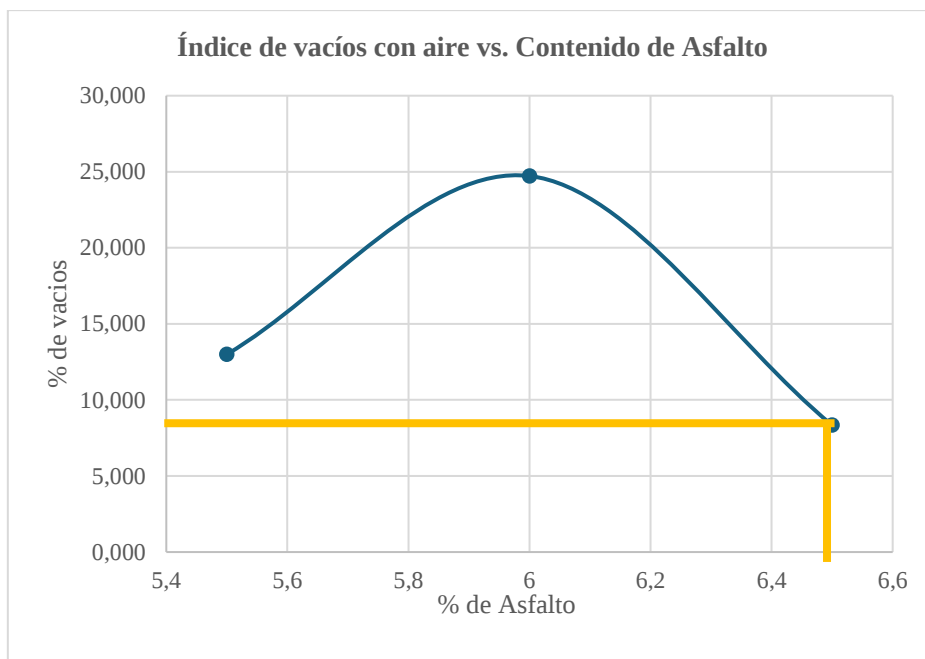


Fig. 39 Resultado Índice de vacíos con aire vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 no cumple con los criterios Marshall para vacíos con aire. Llegando a 8.38% de vacíos con 6.5% de asfalto .De esta manera, se previenen problemas como la segregación de la mezcla y la falta de cohesión, como se observa en la Fig. 39.

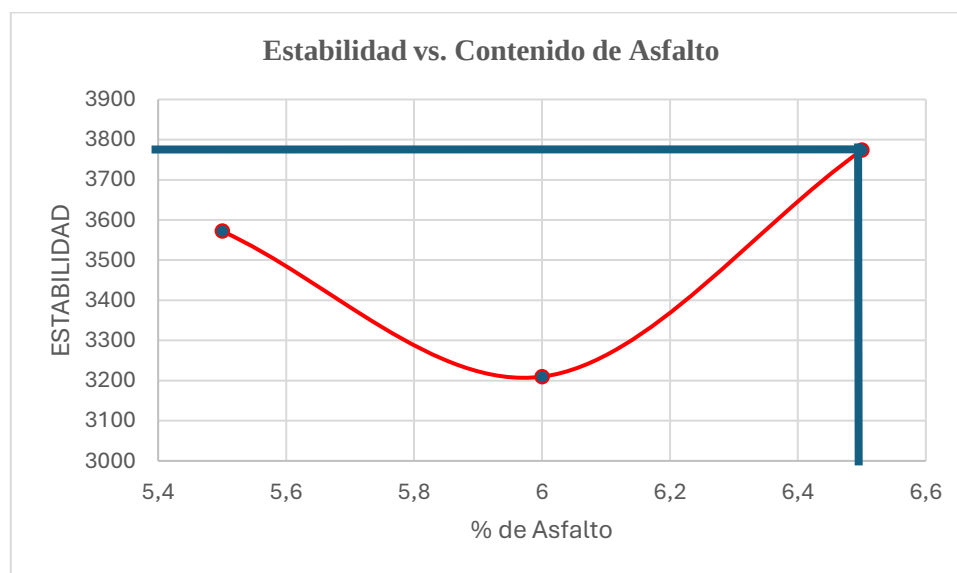


Fig. 40 Resultado Estabilidad vs. Contenido de Asfalto – Mezcla asfáltica Modificada con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Se estableció que el contenido óptimo de AC – 20 para alcanzar la máxima estabilidad es del 6.50%. Esto indica que la estabilidad aumenta hasta un cierto nivel, lo que da

como resultado una mezcla que es capaz de resistir las cargas de tráfico sin sufrir deformaciones, como se observa en la Fig. 40.

TABLA XXXIV

CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP PARA COMPROBACIÓN DE CRITERIOS MARSHALL

Descripción	Porcentaje (%)
Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20	5.5
Índice de vacíos con aire vs. Contenido de AC – 20	6.5
Estabilidad vs. Contenido de AC – 20	6.5
Contenido óptimo de AC – 20	6.167

Interpretación: Se determinó que el contenido óptimo de AC – 20 es igual a 6.167%.

También se analizaron las siguientes relaciones utilizando el porcentaje óptimo de asfalto:

- Vacíos con agregados minerales vs. Contenido de AC – 20
- Flujo o Deformación vs. Contenido de AC – 20
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de AC – 20

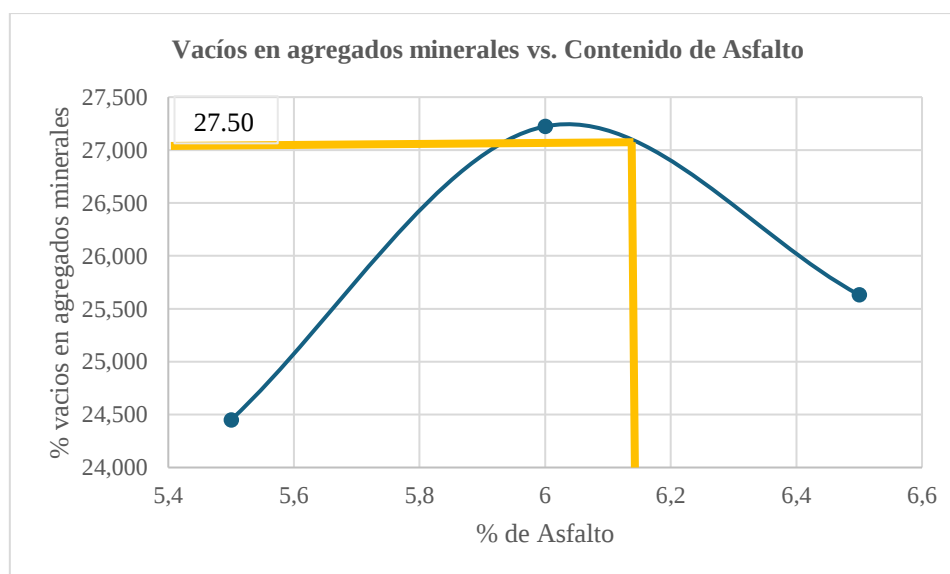


Fig. 41 Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 27.50% para los vacíos en agregados minerales. Esto indica que al incrementarse el contenido de asfalto, el porcentaje de vacíos con agregados minerales disminuye, lo que da como resultado una mezcla que asegura suficiente espacio tanto para el asfalto como para los vacíos de aire. Este equilibrio contribuye a la durabilidad y resistencia de la mezcla como se observa en la Fig. 41.

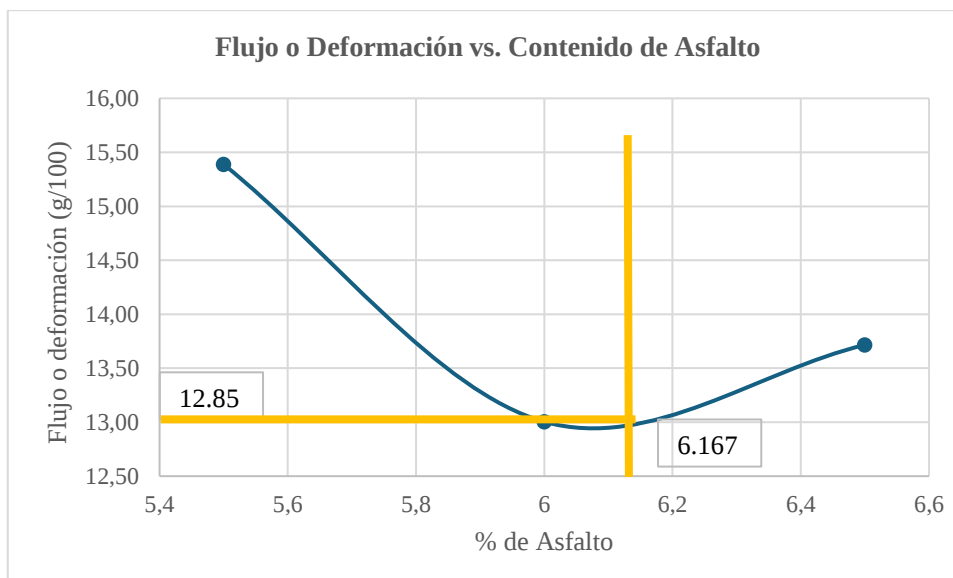


Fig. 42 Flujo o Deformación vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 12.85 para el flujo o deformación. Esto indica que al aumentar el contenido de asfalto, el flujo también aumenta, lo que da como resultado una mezcla que logra un equilibrio adecuado entre rigidez y flexibilidad. Es decir, la mezcla no es lo suficientemente rígida como para causar agrietamiento ni tan blanda como para generar deformaciones permanentes bajo carga, como se observa en la Fig. 42.

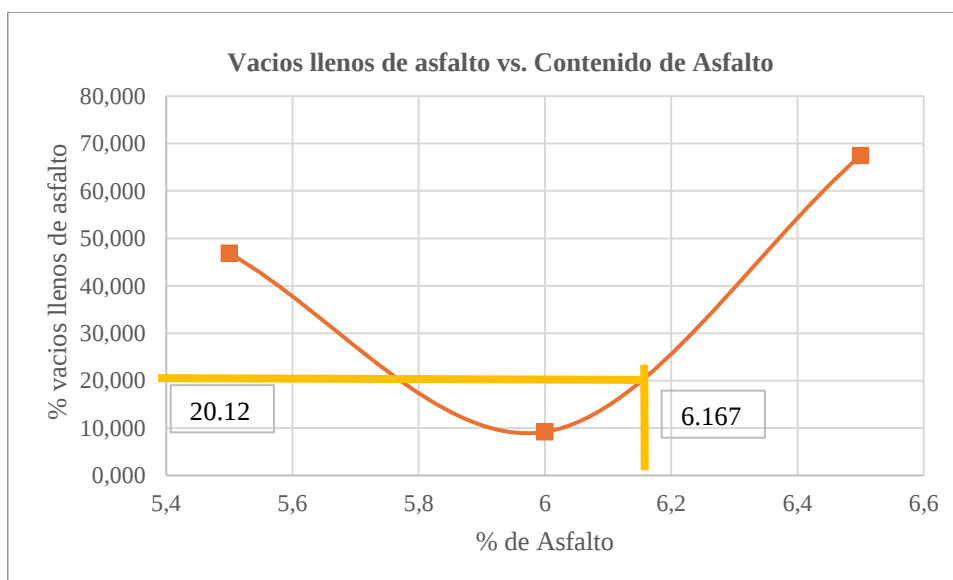


Fig. 43 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de Asfalto con 13% ceniza de cáscara de nuez y 30% RAP

Interpretación: Con el contenido óptimo de AC – 20, se determinó un valor de 20.12% para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto. Esto indica que a medida que aumenta el contenido de

asfalto, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto también aumenta, ya que más asfalto está disponible para llenar los vacíos en los agregados. Esto da como resultado una mezcla que no asegura tener suficiente asfalto para proporcionar cohesión y resistencia, posiblemente llegando a un exceso que pueda generar problemas de estabilidad, como se observa en la Fig. 43.

3) Fase 3

Esta etapa se refiere a la comparación de los resultados obtenidos entre las mezclas asfálticas modificadas con ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP) y la mezcla tradicional, con el objetivo de evaluar su nivel de efectividad.

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

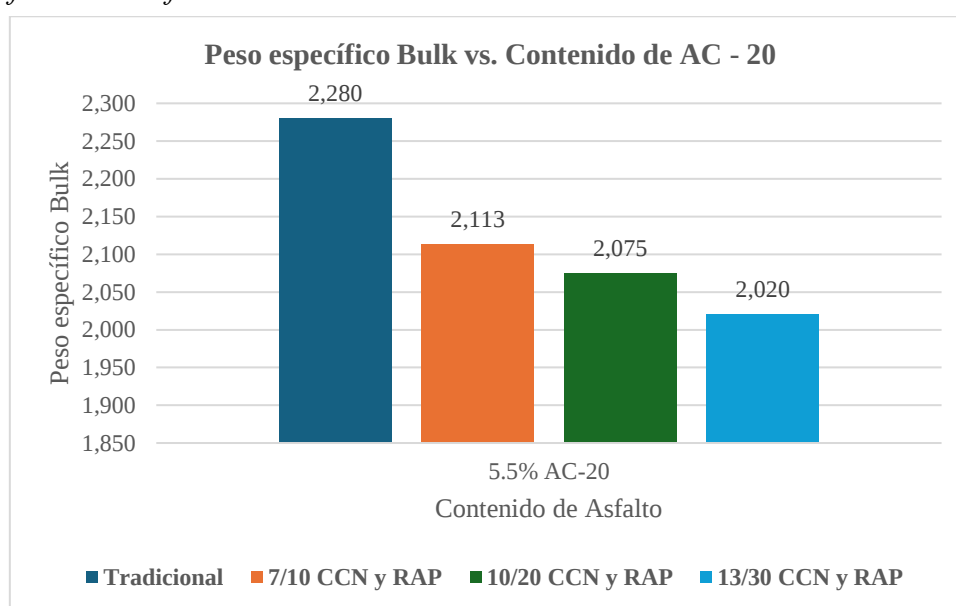


Fig. 44 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 5.5% de AC-20

Interpretación: La mezcla asfáltica tradicional presentó el mayor valor de peso específico Bulk, al 5.5% de asfalto lo que sugiere que es una mezcla bien compactada con menor porosidad. Esto es favorable, ya que garantiza una mayor resistencia y durabilidad, como se puede observar en la Fig. 44.

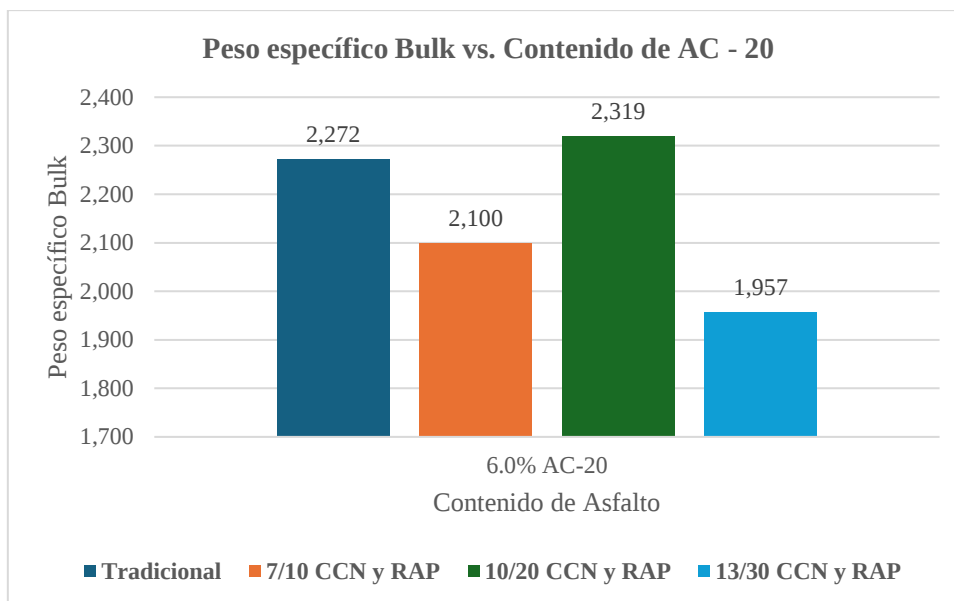


Fig. 45 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.0 % de AC-20

Interpretación: La mezcla asfáltica modificada 10% de CCN y 20 de RAP al 6% de AC-20 presentó el mayor valor de peso específico Bulk, lo que sugiere que es una mezcla bien compactada con menor porosidad. Esto es favorable, ya que garantiza una mayor resistencia y durabilidad, como se puede observar en la Fig. 45.

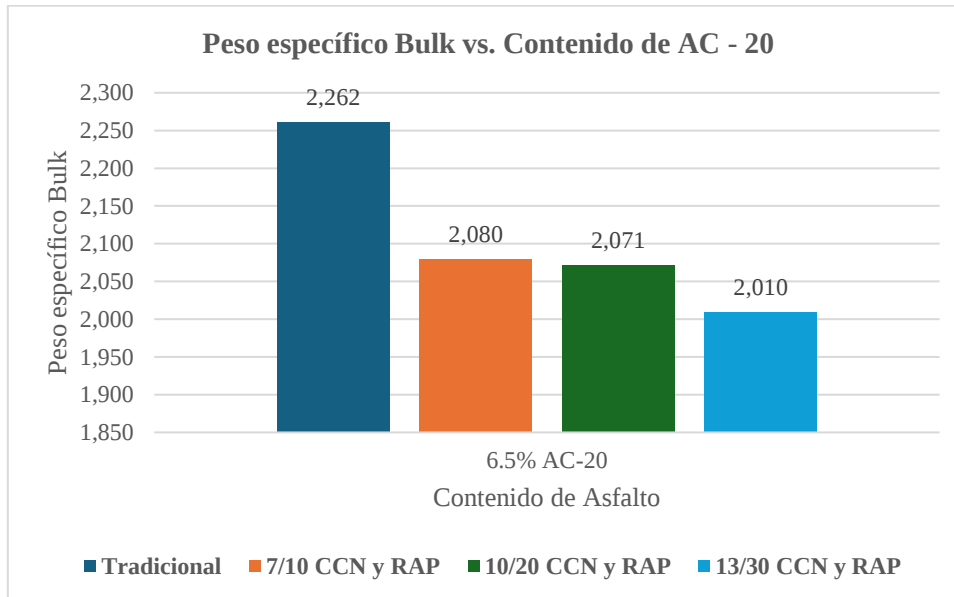


Fig. 46 Comparación de resultados – Peso específico Bulk vs. Contenido de AC – 20 al 6.5% de AC-20

Interpretación: La mezcla asfáltica tradicional presentó el mayor valor de peso específico Bulk, al 6.5% AC-20 lo que sugiere que es una mezcla bien compactada con menor porosidad. Esto es favorable, ya que garantiza una mayor resistencia y durabilidad, como se puede observar en la Fig. 46.

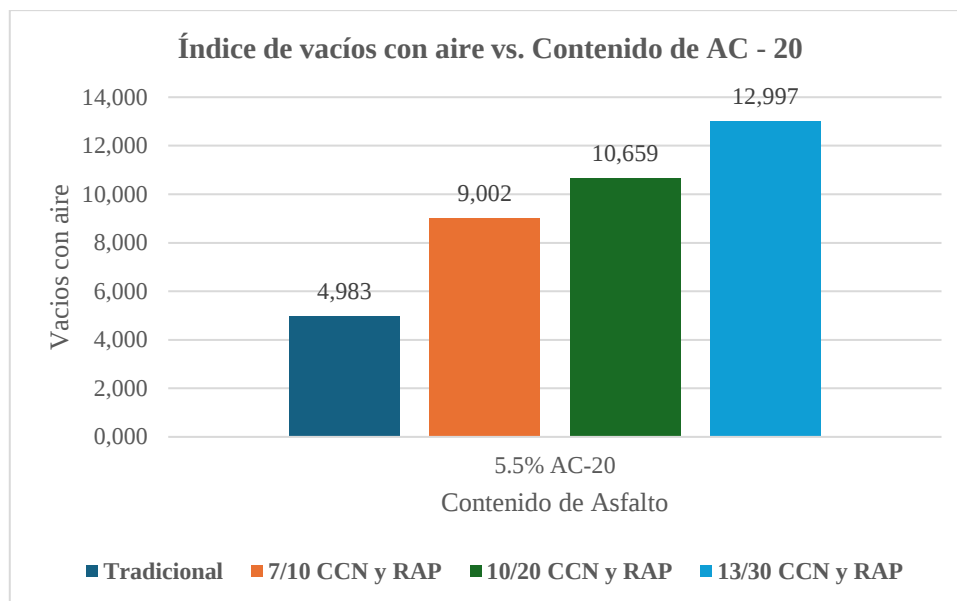


Fig. 47 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas no son adecuados, ya que se encuentran fuera del rango de índice de vacíos establecido entre 3% y 5%. Por lo tanto, las mezclas asfálticas que contienen ceniza de cáscara de nuez y RAP no garantizan una buena resistencia a la deformación, como se puede observar en la Fig. 47.

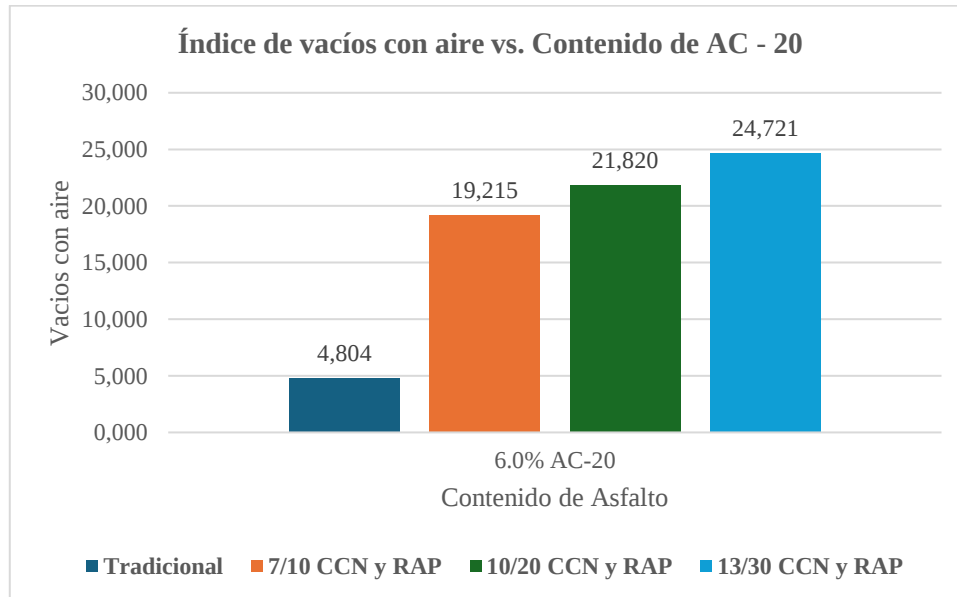


Fig. 48 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas no son adecuados, ya que se encuentran fuera del rango de índice de vacíos establecido entre 3% y 5%. Por lo tanto, las mezclas asfálticas que contienen ceniza de cáscara de nuez y RAP no garantizan una buena resistencia a la deformación, como se puede observar en la Fig. 48.

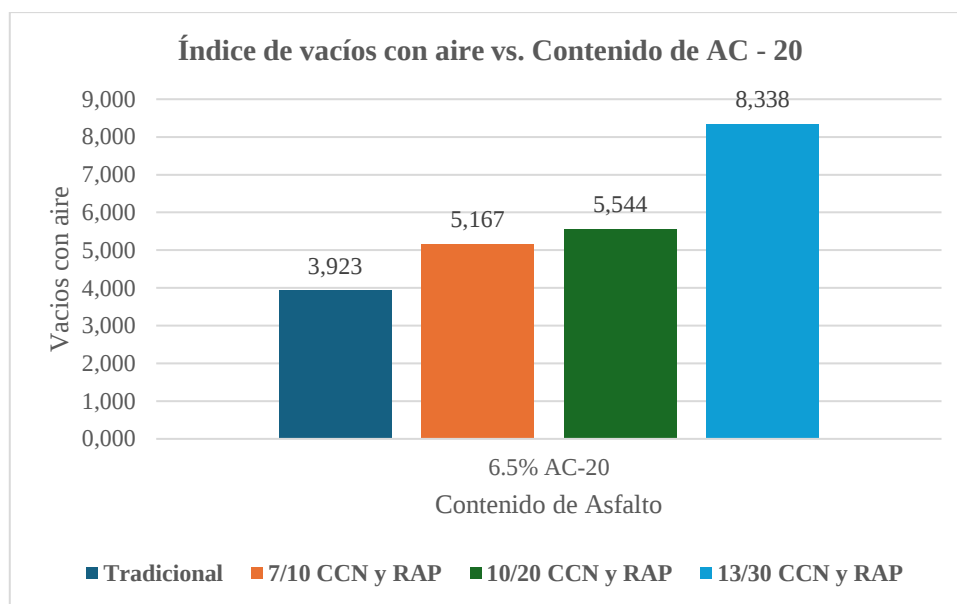


Fig. 49 Comparación de resultados – Índice de vacíos con aire vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas no son adecuados, ya que se encuentran fuera del rango de índice de vacíos establecido entre 3% y 5%. Por lo tanto, las mezclas asfálticas que contienen ceniza de cáscara de nuez y RAP no garantizan una buena resistencia a la deformación, como se puede observar en la Fig. 49.

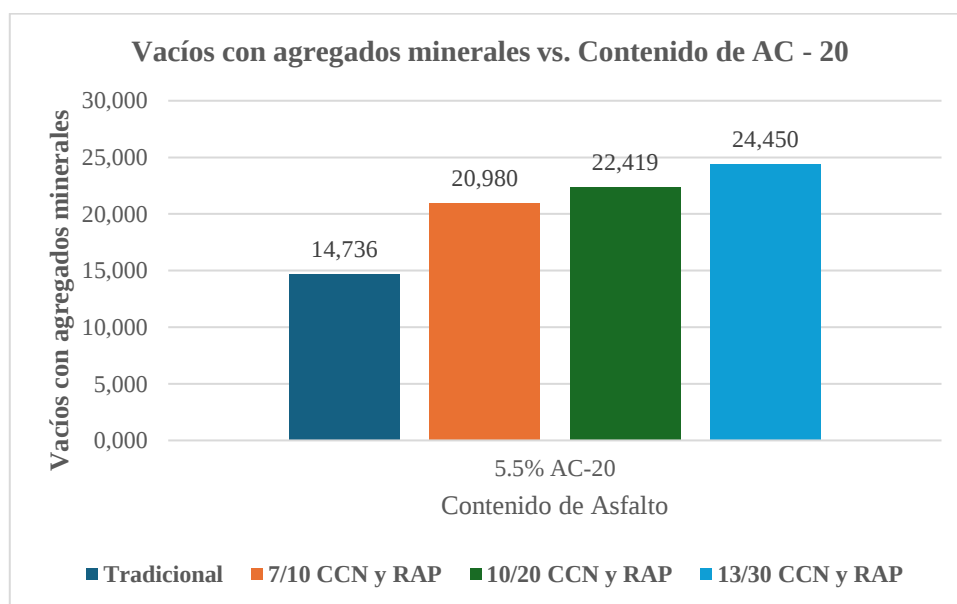


Fig. 50 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: La mezcla que contiene agregados minerales con 5.5% de AC – 20, 13% de ceniza de cáscara de nuez y 30% de RAP presentó el mayor valor de vacíos. Este rango sugiere

una buena resistencia a la deformación, a los daños por fatiga y una mayor durabilidad frente a la acción del agua, al mismo tiempo que minimiza los vacíos, como se observa en la Fig. 50.

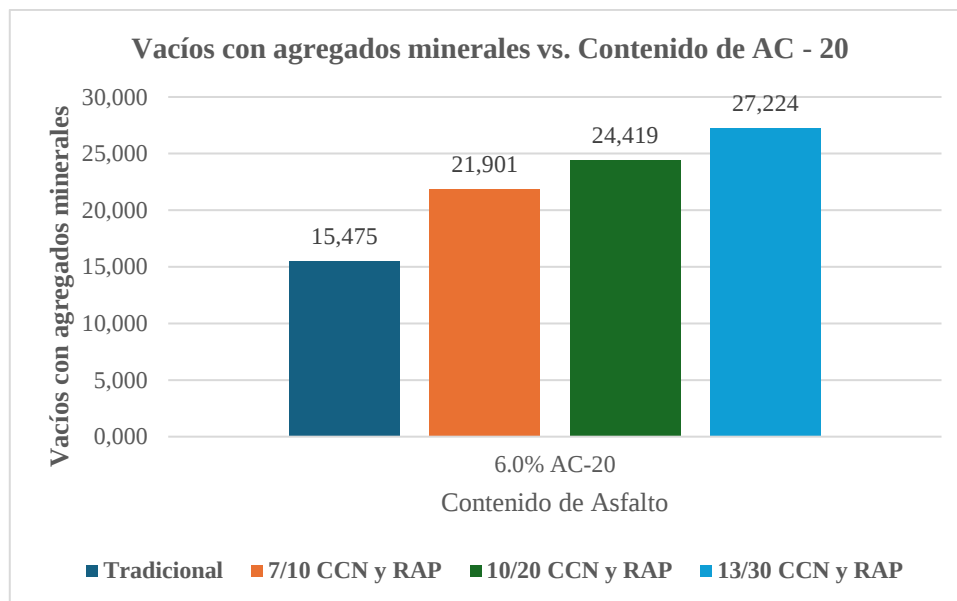


Fig. 51 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.0 AC – 20

Interpretación: La mezcla que contiene agregados minerales con 6.0% de AC – 20, 13% de ceniza de cáscara de nuez y 30% de RAP presentó el mayor valor de vacíos. Este rango sugiere una buena resistencia a la deformación, a los daños por fatiga y una mayor durabilidad frente a la acción del agua, al mismo tiempo que minimiza los vacíos, como se observa en la Fig. 51.

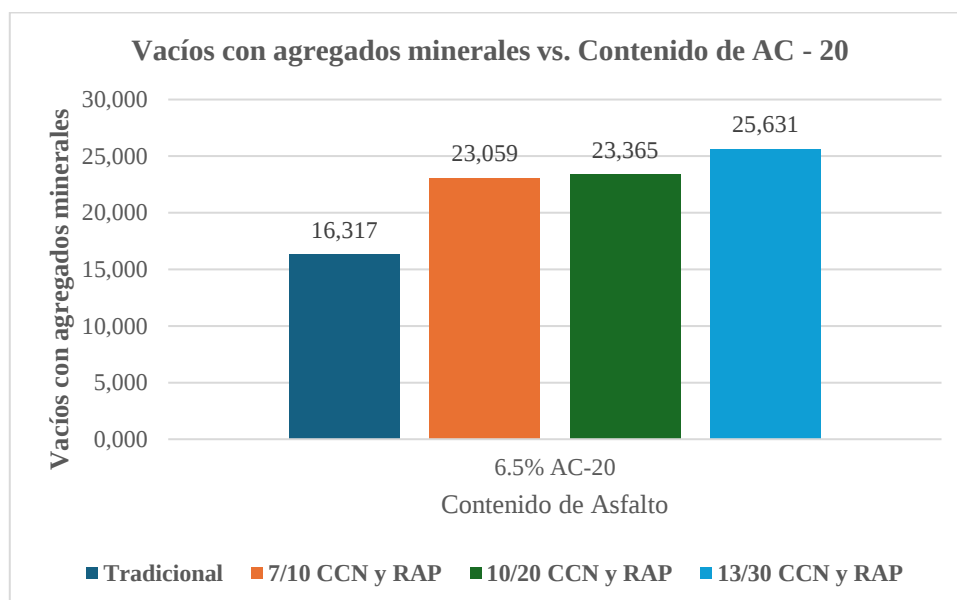


Fig. 52 Comparación de resultados – vacíos con agregados minerales vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: La mezcla que contiene agregados minerales con 6.5% de AC – 20, 13% de ceniza de cáscara de nuez y 30% de RAP presentó el mayor valor de vacíos. Este rango sugiere

una buena resistencia a la deformación, a los daños por fatiga y una mayor durabilidad frente a la acción del agua, al mismo tiempo que minimiza los vacíos, como se observa en la Fig. 52.

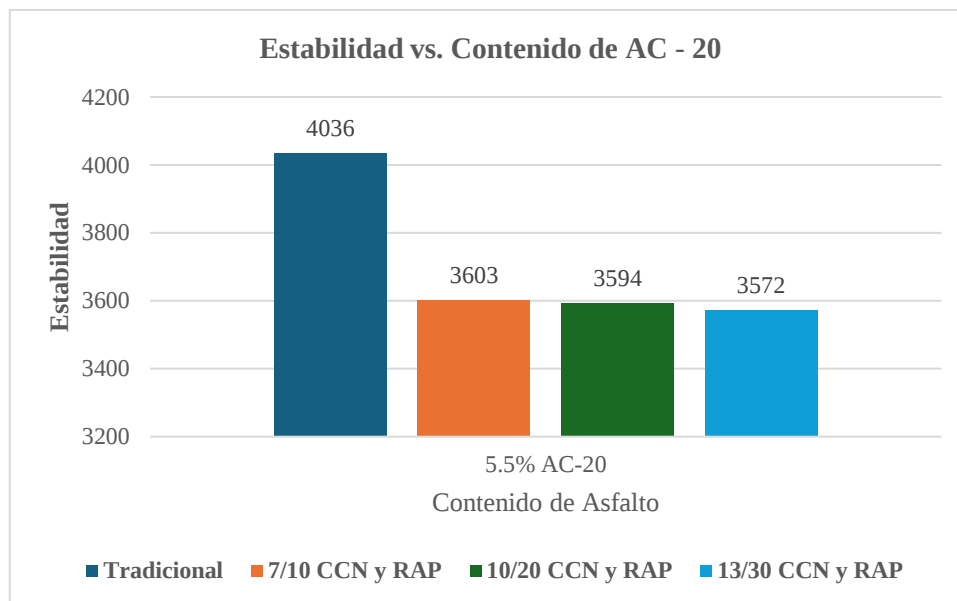


Fig. 53 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: Las mezclas asfálticas modificadas son óptimas, ya que un valor alto de estabilidad indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir las cargas de tráfico sin deformarse, es fundamental para pavimentos que estarán sujetos a altos volúmenes de tráfico pesado, como se observa en la Fig. 53.

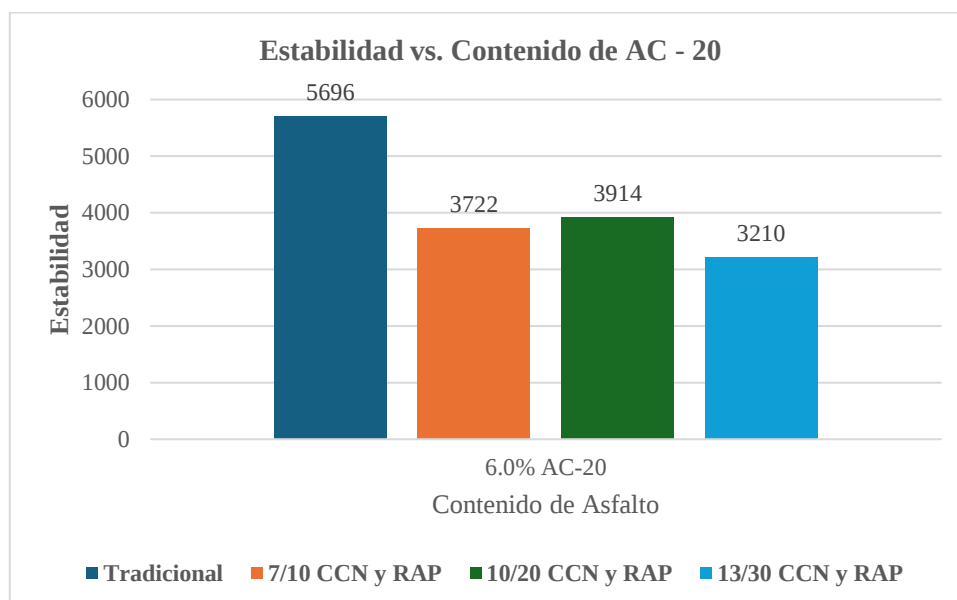


Fig. 54 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: Las mezclas asfálticas modificadas son óptimas, ya que un valor alto de estabilidad indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir las cargas de tráfico sin

deformarse, es fundamental para pavimentos que estarán sujetos a altos volúmenes de tráfico pesado, como se observa en la Fig. 54.

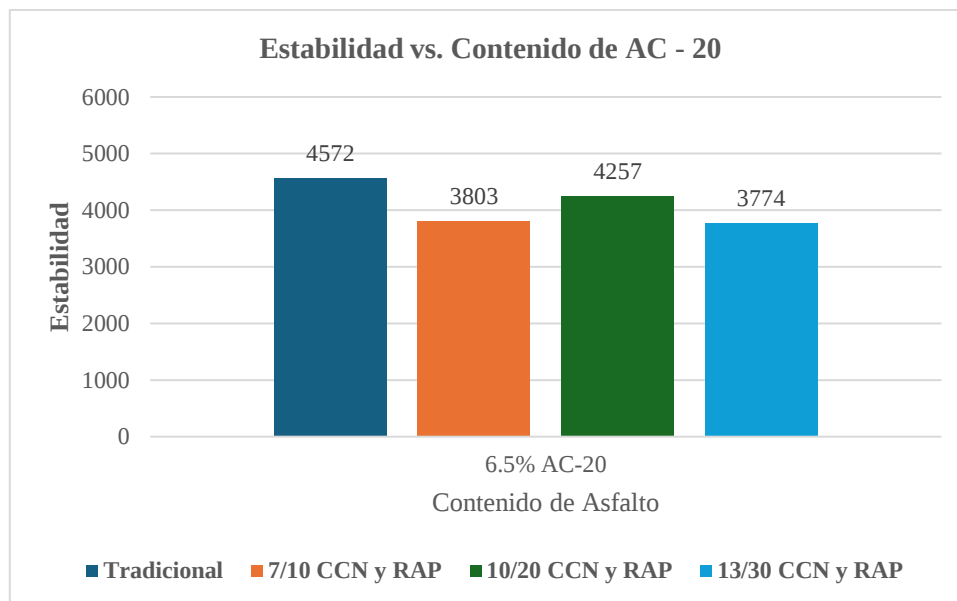


Fig. 55 Comparación de resultados – Estabilidad vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: Las mezclas asfálticas modificadas son óptimas, ya que un valor alto de estabilidad indica que la mezcla tiene una buena capacidad para resistir las cargas de tráfico sin deformarse, es fundamental para pavimentos que estarán sujetos a altos volúmenes de tráfico pesado, como se observa en la Fig. 55.

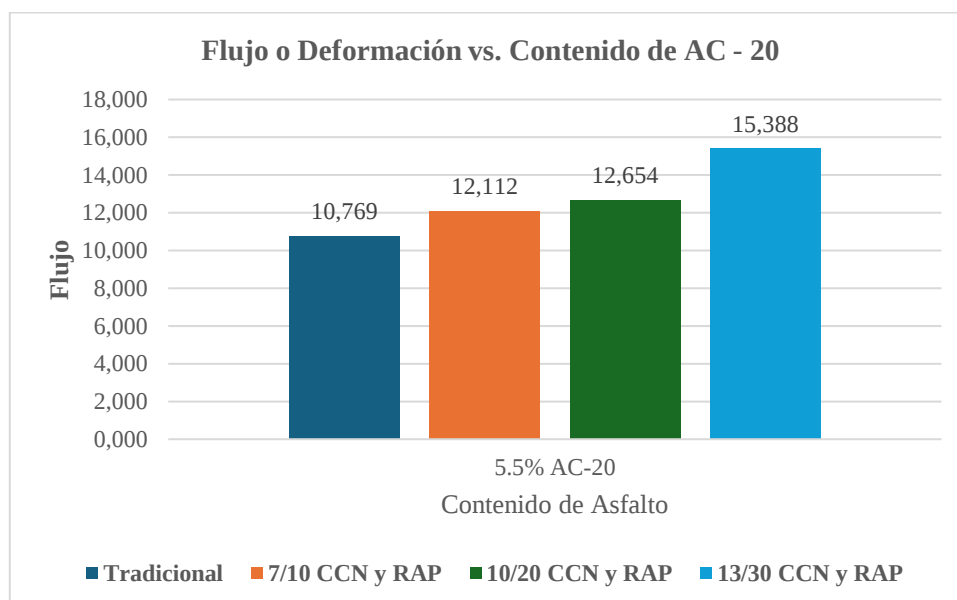


Fig. 56 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas de 7% CCN y 10% RAP y 10% CCN y 20% RAP son adecuados, ya que se encuentran dentro del rango de flujo o

deformación establecido entre 8 y 14 para tráfico pesado. Este rango indica un buen equilibrio entre flexibilidad y resistencia, ya que las mezclas no son demasiado rígidas para evitar agrietamientos, ni demasiado blandas para prevenir deformaciones permanentes bajo carga como el 13% CCN y 30% RAP, como se observa en la Fig. 56.

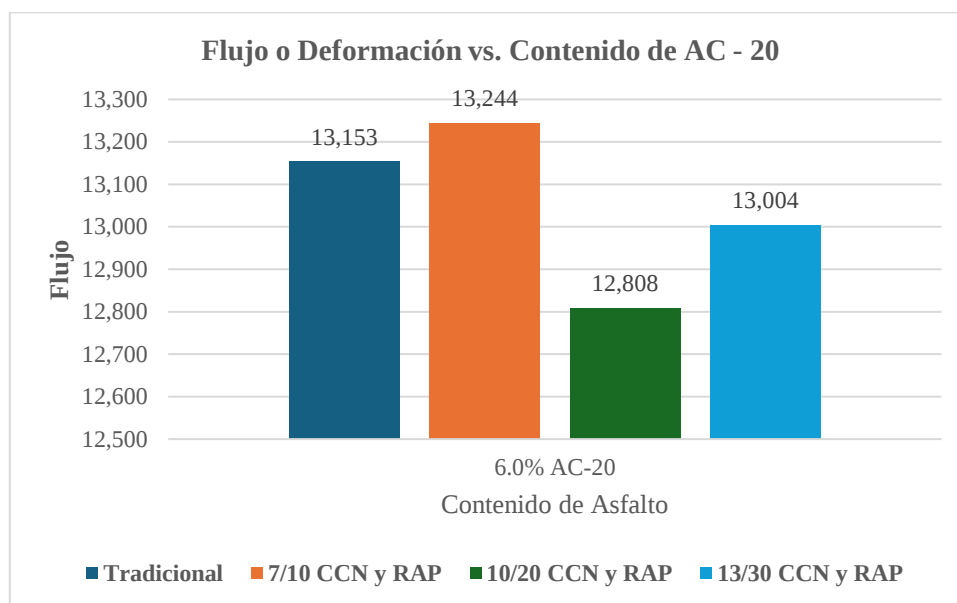


Fig. 57 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas son adecuados, ya que se encuentran dentro del rango de flujo o deformación establecido entre 8 y 14 para tráfico pesado. Este rango indica un buen equilibrio entre flexibilidad y resistencia, ya que las mezclas no son demasiado rígidas para evitar agrietamientos, ni demasiado blandas para prevenir deformaciones permanentes bajo carga, como se observa en la Fig. 57.

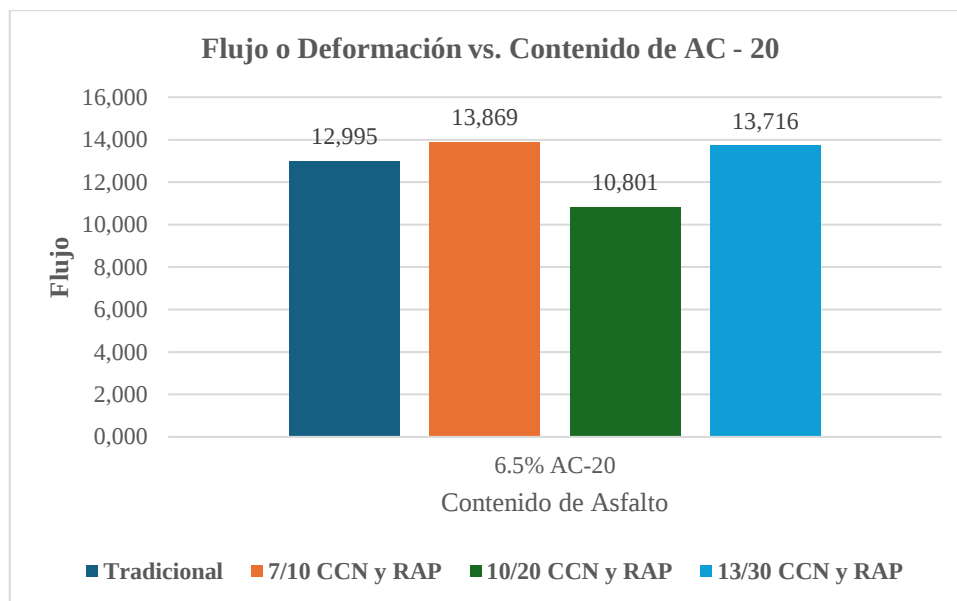


Fig. 58 Comparación de resultados – Flujo vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas son adecuados, ya que se encuentran dentro del rango de flujo o deformación establecido entre 8 y 14 para tráfico pesado. Este rango indica un buen equilibrio entre flexibilidad y resistencia, ya que las mezclas no son demasiado rígidas para evitar agrietamientos, ni demasiado blandas para prevenir deformaciones permanentes bajo carga, como se observa en la Fig. 58.

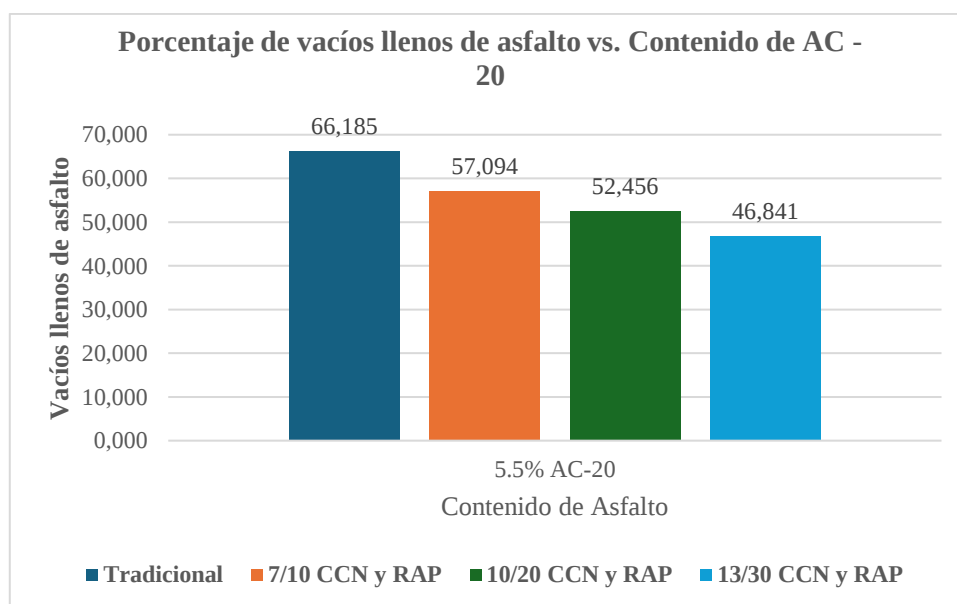


Fig. 59 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 5.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas modificadas no son adecuados, ya que se encuentran fuera del rango de porcentaje de vacíos llenos de asfalto, que va de 65% a 75%.

Este rango indica un equilibrio óptimo entre la cantidad de asfalto y los vacíos en los agregados, lo que proporciona cohesión y resistencia a la mezcla, como se observa en la Fig. 59.

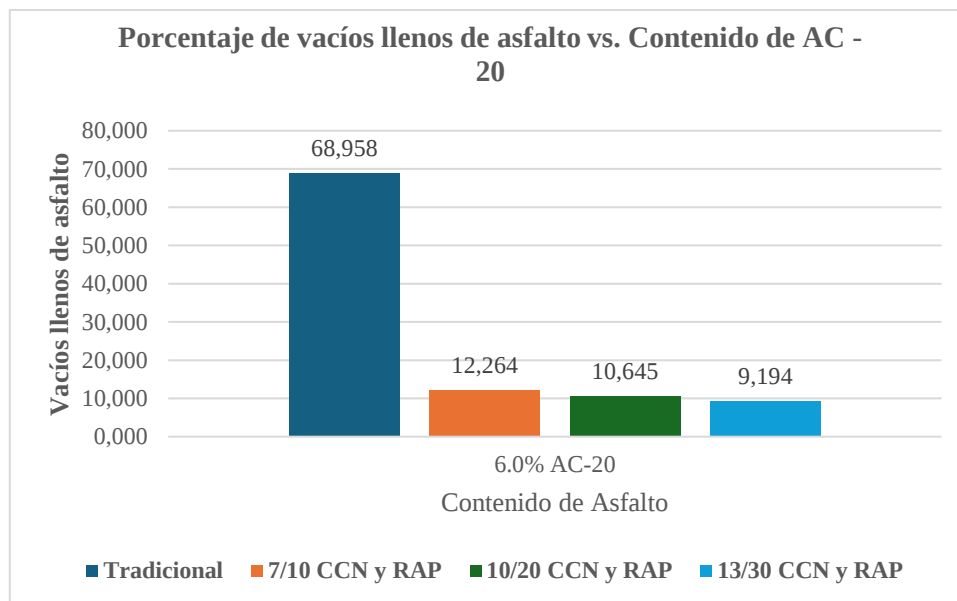


Fig. 60 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.0% AC – 20

Interpretación: Los valores de las mezclas asfálticas no son adecuados, ya que se encuentran fuera del rango de porcentaje de vacíos llenos de asfalto, que va de 65% a 75%. Este rango indica un equilibrio óptimo entre la cantidad de asfalto y los vacíos en los agregados, lo que proporciona cohesión y resistencia a la mezcla, como se observa en la Fig. 60.

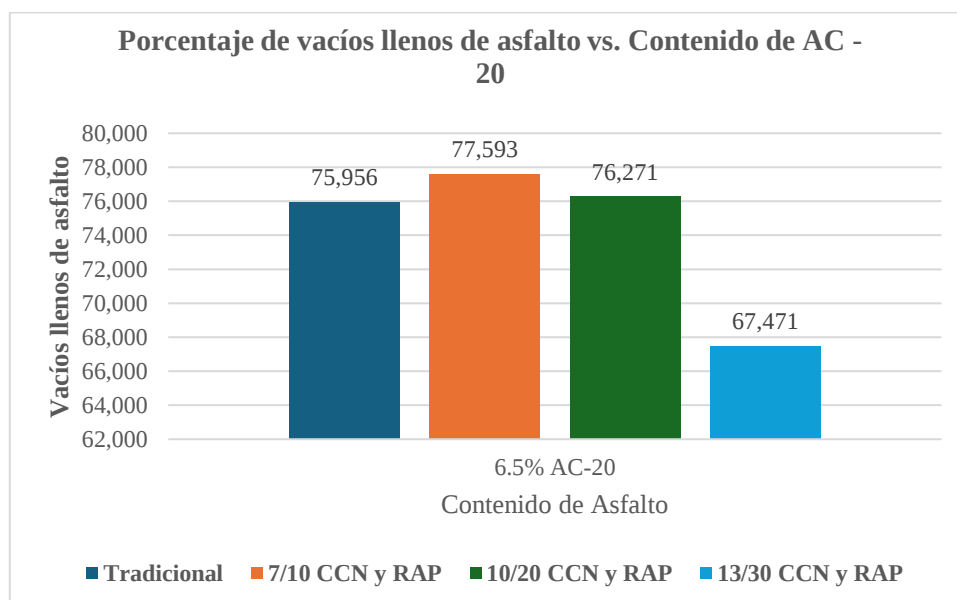


Fig. 61 Comparación de resultados – Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de 6.5% AC – 20

Interpretación: Los valores de la mezcla asfáltica modificada de 13% CCN y 30% RAP son adecuados, ya que se encuentran dentro del rango de porcentaje de vacíos llenos de asfalto,

que va de 65% a 75%. Las demás modificaciones no cumplen con los rangos mínimos y máximos. Este rango indica un equilibrio óptimo entre la cantidad de asfalto y los vacíos en los agregados, lo que proporciona cohesión y resistencia a la mezcla, como se observa en la Fig. 61.

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

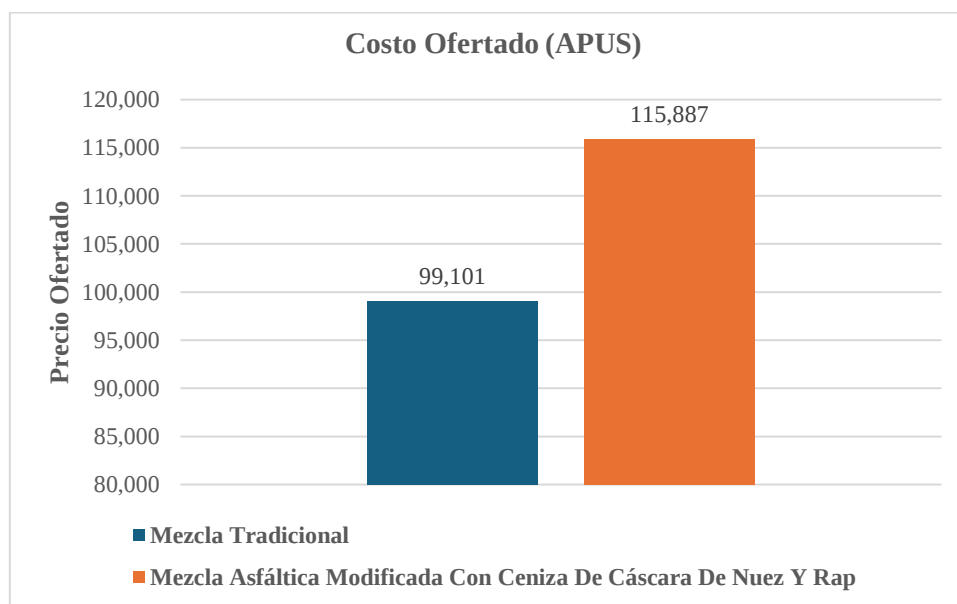


Fig. 62 Comparación de los resultados económicos – Mezcla asfáltica tradicional y Mezcla asfáltica modificada

Interpretación: Los valores dados corresponden a las mezclas que cumplieron con los criterios Marshall, resaltando que la mezcla asfáltica tradicional obtuvo un valor ofertado de \$99.10 por m³, por otro lado, el valor ofertado de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado (RAP) obtuvo un valor ofertado de \$115.87 por m³, por lo cual la diferencia es de \$16.786, como se observa en la Fig. 50.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La adición de ceniza de cáscara de nuez como aditivo en mezclas asfálticas con asfalto reciclado tiene el potencial de mejorar significativamente las propiedades mecánicas del asfalto, tales como resistencia a la compresión, resistencia al desgaste y durabilidad.

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

TABLA XXXV

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

Criterios Marshall	Mezcla Modificada 7% CCN y 10% RAP con 5.5% AC - 20	Mezcla Modificada 10% CCN y 20% RAP con 5.5% AC - 20	Mezcla Modificada 13% CCN y 30% RAP con 5.5% AC - 20	Rango
Índice de vacíos con aire	9.002	10.659	12.997	3 – 5 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	3603	3594	3572	≥ 1800 (lb)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	12.112	12.654	15.388	8 -14 (pulg/100)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	57.094	52.456	46.841	65 – 75 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	

TABLA XXXVI

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

Criterios Marshall	Mezcla Modificada 7% CCN y 10% RAP con 6.0% AC - 20	Mezcla Modificada 10% CCN y 20% RAP con 6.0% AC - 20	Mezcla Modificada 13% CCN y 30% RAP con 6.0% AC - 20	Rango
Índice de vacíos con aire	19,215	21.820	24.721	3 – 5 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	3722	3914	3210	≥ 1800 (lb)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	13.244	12.808	13.004	8 -14 (pulg/100)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	12.264	10.645	9.194	65 – 75 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	

TABLA XXXVII

VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE CRITERIOS MARSHALL AL 6.5% DE AC – 20

Criterios Marshall	Mezcla Modificada 7% CCN y 10% RAP con 6.5% AC – 20	Mezcla Modificada 10% CCN y 20% RAP con 6.5% AC – 20	Mezcla Modificada 13% CCN y 30% RAP con 6.5% AC – 20	Rango
Índice de vacíos con aire	5.167	5.544	8.338	3 – 5 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
Estabilidad	3803	4257	3774	≥ 1800 (lb)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Flujo o Deformación	13.869	10.801	13.716	8 -14 (pulg/100)
Verificación	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	77.593	76.271	67.471	65 – 75 (%)
Verificación	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	

La Tablas XXXV, XXXVI y XXXVII muestran que la adición de ceniza de cáscara de nuez y pavimento asfáltico reciclado no cumple con todos los parámetros de las propiedades mecánicas de pavimentos flexibles, expuestas en la normativa y especificaciones establecidas según los criterios Marshall, confirmando que el uso de estos materiales innovadores no necesariamente puede conducir a la construcción de pavimentos resistentes, duraderos y ambientalmente amigables.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- El área de extracción del Asfalto Reciclado fue ubicada en la Av. 7 Tratados y Juan Montalvo, en el sector Montalvo, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, coincidiendo con las labores de sustitución de las tuberías de agua potable en la zona. Los agregados pétreos fueron extraídos de la mina “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”, mientras que la cáscara de nuez fue recolectada en establecimientos comerciales dedicados a la venta de frutos secos.
- Se elaboraron 27 briquetas donde se formularon tres alternativas para la mezcla asfáltica modificada mediante el método Marshall, donde se incorporaron porcentajes de ceniza de cáscara de nuez en 7%, 10% y 13% como sustituto parcial del agregado fino, y de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en 10%, 20% y 30% en sustitución parcial del agregado intermedio, con contenidos de asfalto AC-20 de 5.5%, 6.0% y 6.5%. Donde se obtuvieron los siguientes resultados según el método Marshall: En 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP cumpliendo estabilidad y flujo, mientras que no cumple en los parámetros de vacíos en aire y vacíos llenos de asfalto. En 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP cumpliendo estabilidad y flujo, mientras que no cumple en los parámetros de vacíos en aire y vacíos llenos de asfalto. En 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP cumpliendo estabilidad y flujo, mientras que no cumple en los parámetros de vacíos en aire y vacíos llenos de asfalto.
- Se llevaron a cabo ensayos de granulometría para los agregados gruesos, finos, ceniza de cáscara de nuez y el RAP dando como resultado: en agregados gruesos y RAP como (GW) gravas bien graduadas, en agregados finos como (SW) arenas bien graduadas y en ceniza de cáscara de nuez como (SP) arenas mal graduadas.
- Se realizó el ensayo de abrasión en los agregados gruesos dando un desgaste promedio de 22.45%, donde el material presenta una excelente resistencia al desgaste.
- Se realizó los ensayos rice para mezcla asfáltica modificada 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP donde solo el 5.5% cumple con el parámetro. En los porcentajes de 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP no cumplen con los parámetros del ensayo RICE y en los porcentajes de 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP donde solo el 6.0% cumple con el parámetro.

- Se determinó el análisis comparativo de las briquetas modificadas con ceniza de cáscara de nuez y RAP, con contenidos de asfalto de 5.5%, 6.0% y 6.5%, no cumplieron con los parámetros establecidos por el método Marshall y RICE, a diferencia de las mezclas tradicionales que sí lo hicieron. Esto se debió a que los porcentajes de vacíos llenos de aire y vacíos llenos de asfalto no estuvieron dentro de los rangos especificados. La fragilidad de la ceniza de cáscara de nuez contribuyó al aumento de los vacíos llenos de aire y a la disminución de los vacíos llenos de asfalto, afectando la distribución adecuada de los espacios pequeños de aire que normalmente existen entre los agregados en la mezcla final compactada. Además, la rigidez del RAP dificultó la correcta compactación y la distribución del asfalto virgen en la mezcla.

II. RECOMENDACIONES

- Se propone realizar más ensayos con RAP procedente de diferentes sitios, considerando diversas condiciones climáticas y tipos de agregados, para obtener un rango más amplio de resultados representativos. Además, se sugiere incorporar diversos polímeros en los ensayos con el fin de evaluar su influencia en las propiedades mecánicas y de durabilidad de las briquetas, garantizando así un desempeño óptimo y versatilidad en el producto final. De esta manera, se podrá comparar los resultados obtenidos en diferentes investigaciones y contextos, permitiendo una evaluación más completa y precisa.
- Se recomienda la actualización de equipos en los ensayos de caracterización (Análisis granulométrico, Ensayo de Abrasión, Método Marshall, Ensayo RICE) para mantenerse a la par del avance tecnológico actual. La incorporación y el acceso de equipos más modernos y precisos permitirá obtener resultados más exactos y reproducibles en la evaluación de briquetas de asfalto con la adición de diferentes polímeros. Esta actualización facilitará una medición más precisa de las propiedades físicas y mecánicas del material, optimizando el análisis de su desempeño y garantizando la consistencia en los resultados.
- Se insta fomentar la investigación sobre la adición de diferentes polímeros con materiales reciclados en las mezclas asfálticas, con el objetivo de comparar su desempeño frente a la mezcla tradicional en términos de funcionalidad, economía y protección del medio ambiente. Este enfoque permitirá evaluar si las mezclas modificadas ofrecen ventajas en durabilidad, costos de producción y sostenibilidad, contribuyendo a la mejora de las propiedades del asfalto y a la reducción del impacto ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. M. S. Maritza y E. U. Aguirre, “Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado ceniza de cáscara de nuez”, 2023. Consultado: el 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/39451>
- [2] S. A. Castillo-Carpio, S. A. Castillo-Carpio, R. A. Yamasqui-Freire, y J. N. Areche-García, “Comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica con aceite de motor”, *Polo del Conocimiento*, vol. 6, núm. 10, pp. 627–648, oct. 2021, doi: 10.23857/pc.v6i10.3228.
- [3] M. Francisco Javier de la Cruz Acosta, A. Sáenz López, y F. Cortés Martínez, “Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez”, *Revista Arquitectura e Ingeniería*, ISSN-e 1990-8830, Vol. 9, N°. 1, 2015, pág. 4, vol. 9, núm. 1, p. 4, 2015, Consultado: el 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6344098&info=resumen&idioma=ENG>
- [4] O. J. Adrianzen Flores *et al.*, “Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria.”, *Infraestructura Vial*, vol. 24, núm. 43, pp. 56–72, feb. 2022, doi: 10.15517/IV.V24I43.47931.
- [5] Q. Guo, L. Li, Y. Cheng, Y. Jiao, y C. Xu, “Laboratory evaluation on performance of diatomite and glass fiber compound modified asphalt mixture”, *Materials & Design (1980-2015)*, vol. 66, núm. PA, pp. 51–59, feb. 2015, doi: 10.1016/J.MATDES.2014.10.033.
- [6] H. K. Shanbara, S. S. Musa, y A. Dulaimi, “The Effect of polypropylene fibres on the tensile performance of asphalt mixtures for road pavements”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 888, núm. 1, jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/888/1/012082.
- [7] M. S. Eisa, M. E. Basiouny, y M. I. Daloob, “Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix”, *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, núm. 4, pp. 403–409, jul. 2021, doi: 10.1007/S42947-020-0072-6.
- [8] A. S. Figueroa Infante., E. Fonseca Santanilla., A. S. Figueroa Infante., y E. Fonseca Santanilla., “Desempeño del pavimento con mezcla reciclada-RAP y grano de caucho reciclado-GCR”, *Infraestructura Vial*, vol. 22, núm. 39, pp. 20–28, jul. 2020, doi: 10.15517/IV.V22I39.41205.
- [9] D. A. Flores Ramos, “La ceniza de cáscara de nuez como sustituto parcial del cemento Portland tipo I y su efecto en la resistencia a compresión”, abr. 2023, Consultado: el 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6581>
- [10] F. Leiva-Villacorta, A. Vargas-Nordcbeck, F. Leiva-Villacorta, y A. Vargas-Nordcbeck, “Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)”, *Infraestructura Vial*, vol. 19, núm. 33, pp. 35–44, 2017, Consultado: el 1 de

- octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052017000100035&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [11] J. B. Iñiguez, C. Flores, y M. Vásquez, “Marshall parameters for quality control of hot mix asphalt after pavement construction”, *Revista de la construcción*, vol. 18, núm. 1, pp. 178–185, abr. 2019, doi: 10.7764/RDLC.18.1.178.
 - [12] N. B. Patino Boyacá, O. J. Reyes-Ortiz, y J. F. Camacho-Taüta, “Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100%”, *Tecnura*, vol. 19, núm. 43, pp. 74–83, ene. 2015, doi: 10.14483/UDISTRITAL.JOUR.TECNURA.2015.1.A05.
 - [13] L. M. Hoyos Díaz, K. del C. Puicon Herrera, S. P. Muñoz Pérez, L. M. Hoyos Díaz, K. del C. Puicon Herrera, y S. P. Muñoz Pérez, “Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria”, *Infraestructura Vial*, vol. 23, núm. 41, pp. 11–19, feb. 2021, doi: 10.15517/IV.V23I41.44410.
 - [14] M. Arabani, A. Shabani, y G. H. Hamedí, “Experimental Investigation of Effect of Ceramic Fibers on Mechanical Properties of Asphalt Mixtures”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31, núm. 9, p. 04019203, jun. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002821.
 - [15] S. Abdulrahman, M. R. Hainin, M. K. I. Mohd Satar, N. A. Hassan, y Z. H. Al Saffar, “Review on the potentials of natural rubber in bitumen modification”, *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 476, núm. 1, p. 012067, abr. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/476/1/012067.
 - [16] M. Pradhan *et al.*, “Effect of Palm Fibers on Asphalt Pavement Properties”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 881, núm. 1, p. 012176, jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/881/1/012176.
 - [17] H. K. Shanbara, F. Ruddock, y W. Atherton, “A laboratory study of high-performance cold mix asphalt mixtures reinforced with natural and synthetic fibres”, *Constr Build Mater*, vol. 172, pp. 166–175, may 2018, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.03.252.
 - [18] J. Johanna Delgado Lucio TUTOR y I. Myriam Marisol Bayas Altamirano, “Evaluación de las propiedades mecánicas asfálticas modificadas con polvo de gres porcelánico en pavimentos flexibles reciclados”, 2024, Consultado: el 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/41995>
 - [19] “Standard Test Method for Bulk Density (‘Unit Weight’) and Voids in Aggregate 1”, Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: www.astm.org

- [20] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, “Granulometria nte inen 696 | PDF”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/granulometria-nte-inen-696/251239856>
- [21] M. DE Obras Publicas, “ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES”, 2002.
- [22] “ASTM C 131 -01 abrasión los angeles - Designación: ASTM C 131 - 01 Método de Ensayo Normalizado para - Studocu”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/dibujo-arquitectonico/astm-c-131-01-abrasion-los-angeles/10746502>
- [23] “NTE INEN 856- Densidad Relativa DEL Agregado FINO - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - - Studocu”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-del-azuay/resistencia-de-materiales-2/nte-inen-856-densidad-relativa-del-agregado-fino/39868633>
- [24] “Norma Nte Inen 857 y 856 | PDF | Laboratorios | Agua”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/346011526/Norma-Nte-Inen-857-y-856>
- [25] “Instituto Ecuatoriano de Normalización: Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 857:2010 | PDF | Densidad | Absorción (Química)”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/364038726/857>
- [26] “Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures”, jul. 2005, doi: 10.1520/D2172-05.
- [27] “Marshall Astm D 1559 PDF | PDF | Densidad | Masa”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/373576121/MARSHALL-ASTM-D-1559-pdf>
- [28] “ASTM D 1559 Aashto T 225: Diseño de Mezclas Método Marshall E Interpretación de Resultados | PDF | Cemento | Ingeniería de Edificación”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/433819093/ast>
- [29] “ASTM D 2041 (Gravedad Especifica Maxima Teorica en Mezclas Bituminosas | PDF | Vacío | Densidad”. Consultado: el 12 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/59341222/ASTM-D-2041-Gravedad-Especific-Maxima-Teorica-en-Mezclas-Bituminosas>

ANEXOS

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

TABLA XXXVIII

PESOS UNITARIOS CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”				
ENSAYO: PESOS UNITARIOS				
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Hupante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi			
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano			
Fecha:	oct-24			
Norma:	ASTM C29-97			
Agregados que pasan el tamiz 3/4				
Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	36060	35960	35240,0	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	29,7			gr
Diámetro interno	31,2			gr
Volumen del molde	22706,78			cm3
Peso Unitario	1,149	1,145	1,113	gr/cm3
Peso Unitario Promedio	1,136			gr/cm3
Agregados que pasan el tamiz 3/8				
Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	35300	34580	34560	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	29,7			gr
Diámetro interno	31,2			gr
Volumen del molde	22706,78			cm3
Peso Unitario	1,116	1,084	1,083	gr/cm3
Peso Unitario Promedio	1,095			gr/cm3
Agregados que pasan el tamiz #4				
Descripción	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Unidad
Peso de la muestra	41360	41180	41360	gr
Peso molde	9960			gr
Altura interna	29,7			gr

Diámetro interno	31,2			gr
Volumen del molde	22706,78			cm ³
Peso Unitario	1,383	1,375	1,383	gr/cm ³
Peso Unitario Promedio	1,380			gr/cm ³

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

TABLA XXXIX

GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”							
ENSAYO: GRANULOMETRÍA AGREGADOS PÉTREOS							
Agregados 3/4", 3/8 y Arena							
Origen:		Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi					
Ensayado por:		Ana Michelle Viteri Lascano					
Fecha:		oct-24					
Norma:		ASTM C 136 - INEN 696					
Tamaño del Tamiz		$\frac{3}{4}$ "	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	30,60	98,34	79,39	3,20
No. 8	2,36	8168,57	3300,30	128,89	99,95	99,83	13,46
No. 50	0,300	8172,60	3304,22	557,09	100,00	99,95	58,19
No. 100	0,150	8172,60	3305,83	636,69	100,00	100,00	66,50
No. 200	0,075	8172,60	3305,83	800,32	100,00	100,00	83,59
Pasa No. 200		0,00	0,00	0,00	1000,00		
TOTAL		8172,60	3305,83	957,44			

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

TABLA XL

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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”						
ENSAYO: GRANULOMETRÍA						
Granulometría Carpeta Asfáltica						
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Av 7 Tratados parroquia Montalvo - Cantón Cevallos					
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano					
Fecha:	Nov-2024					
Norma:	INEN 696					
Constante de bache	1740		1550			
Tamaño de agregado	¾"	3/8"	Arena			
% cada tolva	10,9	40,2	48,9	100,0		
	% Pasa #1	% Pasa #2	% Pasa #3	% Pasa Total	Límites MOP-001-F 2002	
Tamiz	Tamiz (mm)	190	700	850	1740	
1"	25,40	10,92	40,23	48,85	100,0	--
3/4"	19,00	10,64	40,23	48,85	99,7	100
1/2"	12,70	5,57	40,23	48,85	94,7	90 – 100
3/8"	9,50	2,97	40,23	48,85	92,1	--
No. 4	4,75	0,18	8,29	47,29	55,8	44 – 77
No. 8	2,36	0,01	0,07	42,27	42,3	28 – 58
No. 50	0,300	0,00	0,02	20,43	20,4	5 – 21
No. 200	0,075	0,00	0,00	8,02	8,0	2 – 10
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA						
D10 mm		0,095				
D30 mm		0,750				
D60 mm		5,300				
Cu		55,789				
Cc		1,117				

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

TABLA XLI

GRANULOMETRÍA CON EL AGREGADO FINO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

		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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”						
ENSAYO: GRANULOMETRÍA						
Origen:		Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi				
Ensayado por:		Ana Michelle Viteri Lascano				
Fecha:		Nov-2024				
Norma:		ASTM C 136				
Peso del agregado:		812 gr				
Agregados que pasan el tamiz #4						
Tamaño del Tamiz		Peso retenido (gr)	Peso ret/acum (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
Tamiz	Tamiz (mm)					Nº 4
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100
No. 4	4,75	30,60	30,60	3,82	96,18	80 - 100
No. 8	2,36	98,29	128,89	16,10	83,90	65 – 100
No. 50	0,300	428,20	557,09	69,61	30,39	7 – 40
No. 200	0,075	195,83	752,92	94,08	5,92	2 – 10
Pasa No. 200		47,40	800,32	100,00	0,00	--
TOTAL		800,32				
MÓDULO DE FINURA				2,84		
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA				PORCENTAJE DE MATERIAL		
D10 mm		0,095		% GRAVA	% ARENA	% LIMO Y ARCILLA
D30 mm		0,30				
D60 mm		0,92				
Cu		9,68		0	72	5
Cc		1,03		Arenas limpias Menos de 5% finos^b $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$		

TABLA XLII

GRANULOMETRÍA CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ

		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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”							
ENSAYO: GRANULOMETRÍA CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ							
Origen:		Reciclaje					
Ensayado por:		Ana Michelle Viteri Lascano					
Fecha:		Nov.2024					
Norma:		ASTM C 136					
Peso del agregado:		330.2 gr					
Ceniza de cáscara de Nuez							
Tamaño del Tamiz		Peso retenido (gr)	Peso ret/acum (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002	
Tamiz	Tamiz (mm)					Nº 4	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	
No. 4	4,75	65,10	65,10	19,73	80,27	80 - 100	
No. 8	2,36	45,10	110,20	33,39	66,61	65 – 100	
No. 50	0,300	166,40	276,60	83,82	16,18	7 – 40	
No. 200	0,075	42,50	319,10	96,70	3,30	2 – 10	
Pasa No. 200		10,90	330,00	100,00	0,00	--	
TOTAL		330,00					
MÓDULO DE FINURA				3,34			
COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA							
D10 mm		0,190					
D30 mm		0,550					
D60 mm		1,800					
Cu		9,474					
Cc		0,885					

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

TABLA XLIII

CONTENIDO DE HUMEDAD CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”		
ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD		
Contenido de humedad del agregado fino		
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi	
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano	
Fecha:	Oct-2024	
Norma:	ASTM D2974	
Descripción	Peso	Unidad
Recipiente Número	A112	--
Peso muestra húmeda	490,91	gr
Peso muestra seca	472,18	gr
Peso Recipiente	50,85	gr
Peso agua	18,73	gr
Peso suelo seco	421,33	gr
Contenido de humedad	4,45	%

f) Anexo 6. Resultados del ensayo de abrasión:

TABLA XLIV

ABRASIÓN CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”		
ENSAYO: ABRASIÓN		
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi	
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano	
Fecha:	nov-24	

Norma:	ASTM C535 o 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	gr
Diferencia	1090	gr
Porcentaje de desgaste	21,8	%
Método C - Agregados 1/4 y #4		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso inicial de la muestra	5000	gr
Peso final retenido en el tamiz #12	3845	gr
Diferencia	1155	gr
Porcentaje de desgaste	23,1	%

g) Anexo 7. Resultados del ensayo de gravedad específica agregados:

TABLA XLV

GRAVEDAD ESPECÍFICA CON AGREGADO DE LA PLANTA “ARIAS PRODULARIDOS CÍA. LTDA.”

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”		
ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Hupante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi	
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano	
Fecha:	nov-24	
Norma:	ASTM C128	
Gravedad Específica del agregado 3/4		
Descripción	Peso	Unidad
Peso en el aire de la muestra	7616,2	gr
Peso en aire SSS	7879,1	gr
Peso en el agua	4788,8	gr
Peso Específico Aparente	2,465	gr
Peso Específico Nominal	2,694	gr
Peso Específico Aparente Superficie Seca	2,550	gr
Porcentaje de absorción	3,452	%
Gravedad Específica del agregado 3/8		
Descripción	Peso	Unidad
Peso en el aire de la muestra	7164,9	gr
Peso en aire SSS	7489,3	gr
Peso en el agua	4548,7	gr
Peso Específico Aparente	2,437	gr
Peso Específico Nominal	2,739	gr
Peso Específico Aparente Superficie Seca	2,547	gr
Porcentaje de absorción	4,528	%
Gravedad Específica del agregado fino Arena		
Descripción	Peso	Unidad
Peso picnómetro	98,8	gr
Peso aire muestra	245,7	gr
Peso picnómetro aforado lleno de agua	341,5	gr
Peso picnometro aforado con muestra y agua	497,8	gr

Peso muestra SSS	250	gr
Peso Específico Aparente	2,622	gr
Peso Específico Nominal	2,7483	gr
Peso Específico Aparente Superficie Seca	2,668	gr
Porcentaje de absorción	1,750	%

h) Anexo 8. Resultados del ensayo de gravedad específica ceniza de cáscara de nuez:

TABLA XLVI

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ

 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”		
ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Hupante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi	
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano	
Fecha:	nov-24	
Norma:	ASTM C128	
Gravedad Específica Ceniza de Cáscara de Nuez		
Descripción	Peso	Unidad
Peso en el aire de la muestra	850	gr
Peso en aire SSS	1030	gr
Peso en el agua	680	gr
Peso Específico Aparente	2,429	gr
Peso Específico Nominal	5,000	gr
Peso Específico Aparente Superficie Seca	2,943	gr
Porcentaje de absorción	21,176	%

i) Anexo 9. Resultados del ensayo centrifugado RAP:

TABLA XLVII

CENTRIGUFADO DEL PAVIMENTO 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”		
ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA		
Origen:	Av. 7 tratados - Parroquia Montalvo - Cantón Cevallos	
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano	
Fecha:	nov-24	
Norma:	ASTM C128	
Contenido de asfalto RAP		
Descripcion	Peso	Unidad
Peso de olla	1137,2	g
Peso de olla llena	2121	g
Peso de olla llena después de la extracción	2060,2	g
Peso del filtro antes	16,81	g
Peso del filtro después	19,21	g
Peso muestra antes	983,8	g
Peso muestra después	923	g
Peso tarro antes	25,42	g
peso tarro después	25,82	g
Total de gasolina ml	2500	ml
Residuo en 100 cm3 de gasolina	0,4	cm³
Residuo en 2500 ml de gasolina	10	cm³
Contenido de asfalto %	5,41	%

j) Anexo 10. Resultados del ensayo rice – mezcla asfáltica tradicional:

TABLA XLVIII

ENSAYO RICE – MEZCLAS 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”				
ENSAYO RICE				
Ensayo Rice 5.5%, 6.0%, 6.5% AC-20				
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi			
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano			
Fecha:	nov-24			
Norma:	ASTM D 2041			
Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2129,9	2107,5	2129,9	gr
Peso Tapa	876,1	932,1	876,1	gr
Peso Olla+Tapa	3006	3039,6	3006	gr
Peso material	873	650,7	1083,6	gr
Peso olla+material	3879	3690,3	4089,6	gr
Peso olla+agua	6700,5	6218,7	6700,5	gr
Peso olla+agua+tapa	7576,6	7150,8	7576,6	gr
Peso olla+agua+tapa+material	8085,8	7528,9	8199,9	gr
Volumen olla	4570,6	4111,2	4570,6	gr
Peso Agua	2440,7	2003,7	2440,7	gr
RICE	2,40	2,39	2,35	--

k) Anexo 11. Resultados del ensayo rice – mezcla asfáltica modificada:

TABLA XLIX

ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 7% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 10% 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”				
ENSAYO RICE				
Ensayo Rice 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 7.00% Ceniza de cáscara de nuez y 10.00% RAP				
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi			
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano			
Fecha:	nov-24			
Norma:	ASTM D 2041			
Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2129,9	2107,5	2129,9	gr
Peso Tapa	876,1	932,1	876,1	gr
Peso Olla+Tapa	3006	3039,6	3006	gr
Peso material	1273,7	1458,3	1206,5	gr
Peso olla+material	4279,7	4497,9	4212,5	gr
Peso olla+agua	6700,5	6218,7	6700,5	gr
Peso olla+agua+tapa	7576,6	7150,8	7576,6	gr
Peso olla+agua+tapa+material	8301,8	8048	8232,9	gr
Volumen olla	4570,6	4111,2	4570,6	gr
Peso Agua	2440,7	2003,7	2440,7	gr
RICE	2,32	2,60	2,19	--

TABLA L

ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”				
ENSAYO RICE				
Ensayo Rice 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP				
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi			
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano			
Fecha:	nov-24			
Norma:	ASTM D 2041			
Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2129,9	2107,5	2107,5	gr
Peso Tapa	876,1	932,1	932,1	gr
Peso Olla+Tapa	3006	3039,6	3039,6	gr
Peso material	1059,2	1287,8	1654,8	gr
Peso olla+material	4065,2	4327,4	4694,4	gr
Peso olla+agua	6700,5	6218,7	6218,7	gr
Peso olla+agua+tapa	7576,6	7150,8	7150,8	gr
Peso olla+agua+tapa+material	8147,2	7875,8	8062,9	gr
Volumen olla	4570,6	4111,2	4111,2	gr
Peso Agua	2440,7	2003,7	2003,7	gr
RICE	2,17	2,29	2,23	--

TABLA LI E

ENSAYO RICE – MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA, 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”				
ENSAYO RICE				
Ensayo Rice 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP				
Origen:	Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Píllaro Provincia de Cotopaxi			
Ensayado por:	Ana Michelle Viteri Lascano			
Fecha:	nov-24			
Norma:	ASTM D 2041			
Descripción	Resultados			Unidad
	5.5% AC-20	6.0% AC-20	6.5% AC-20	
Peso Olla	2129,9	2107,5	2129,9	gr
Peso Tapa	876,1	932,1	876,1	gr
Peso Olla+Tapa	3006	3039,6	3006	gr
Peso material	1569,6	1513,6	1506,2	gr
Peso olla+material	4575,6	4553,2	4512,2	gr
Peso olla+agua	6700,5	6218,7	6700,5	gr
Peso olla+agua+tapa	7576,6	7150,8	7576,6	gr
Peso olla+agua+tapa+material	8441,4	8026,8	8232,5	gr
Volumen olla	4570,6	4111,2	4570,6	gr
Peso Agua	2440,7	2003,7	2440,7	gr
RICE	2,23	2,37	1,77	--

l) Anexo 12. Resultados del ensayo Marshall – Mezclas asfáltica tradicional

TABLA LII

ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																									
PROYECTO: "EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO"																									
ENSAYO MARSHALL - MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL																									
Origen: Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Pillaro Provincia de Cotopaxi						Ensayado por: Ana Michelle Viteri Lascano						Fecha: Sep-24													
Gagregados 2,52708314																									
FECHA		%	de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico			Volumen % TOTAL						Estabilidad		Flujo		% vacios llenos de asfalto			
						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
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T					
											(I-H)*10^4 I*H(100-B)	(100-B)*G 2,52708314I	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)) 100	62.4*G								
19/10/2024	5,5	1	5,65	941,7	945,4	520,7	2,217																		
		2	7,02	1211,6	1213,6	681	2,275																		
		3	6,78	1163	1164,3	669	2,348																		
							2,280	2,335	2,400	1,225	85,264	4,983	9,753	14,736	4,343	142,278									
19/10/2024	6	1	7,21	1247	1248,1	682,3	2,204																		
		2	7,44	1304,5	1305,5	711,6	2,196																		
		3	6,80	1171,8	1173	688,1	2,417																		
							2,272	2,319	2,387	1,311	84,525	4,804	10,672	15,475	4,767	141,794									
19/10/2024	6,5	1	7,59	1334,1	1335,2	765,2	2,341																		
		2	6,92	1183,6	1185,2	651,6	2,218				2,426														
		3	7,13	1240	1241,1	684,2	2,227																		
							2,262	2,303	2,354	1,009	83,683	3,923	12,394	16,317	5,557	141,134									

	2,080	2,303	2,193	-2,332	76,941	5,167	17,892	23,059	8,681	129,763	3803	13,87	77,5927
--	-------	-------	-------	--------	--------	-------	--------	--------	-------	---------	------	-------	---------

TABLA LIV

ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 10% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 20% RAP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																																											
PROYECTO: “EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO CASCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”																																											
ENSAYO MARSHALL - 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 10.00% Ceniza de cáscara de nuez y 20.00% RAP																																											
Origen: Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante vía Pillaro Provincia de Cotopaxi										Ensayado por: Ana Michelle Viteri Lascano					Fecha: Sep-24																												
Gagregados 2.52708314																																											
FECHA		% de Asfalto		Muestra No		Espesor briqueta		Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico			Volumen % TOTAL				Estabilidad		Flujo		% vacios llenos de asfalto																					
								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		
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 2,52708314I		(I-G/I)*100		100-K-L		100-K		=B-(J(100-B)) 100		62.4*G										
19/10/2024		5,5		1		7,23		1205,2		1210		628,8		2,074								77,581		10,659		11,760		22,419		5,734		129,457				3594		12,65		52,4565			
				2		6,46		1067,3		1070,5		550,1		2,051																				4197		3441		13,335		0,82			
				3		6,41		1088,3		1092,1		573,7		2,099																		4229		4166		11,5316		0,985					
19/10/2024		6		1		6,22		1038,1		1039,8		535,5		2,058								75,581		21,820		2,599		24,419		1,350		126,791				3914		12,81		10,6448			
				2		6,83		1113,2		1118,5		565,6		2,013																		4102		3650		13,269		0,89					
				3		7,25		1180,3		1187,1		603,9		2,024								75,581		21,820		2,599		24,419		1,350		126,791		4129		3377		13,416		0,818			
19/10/2024		6,5		1		6,25		1050,2		1051,4		546,1		2,078								76,635		5,544		17,821		23,365		8,681		129,247				4257		10,80		76,2706			
				2		6,37		989,1		990,6		513		2,071								76,635		5,544		17,821		23,365		8,681		129,247		3779		3741		11,136		0,99			
				3		6,39		1057,4		1058,9		546,7		2,064								76,635		5,544		17,821		23,365		8,681		129,247		3779		3741		11,136		0,99			

TABLA LV

ENSAYO MARSHALL – MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 13% CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y 30% RAP

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																					
PROYECTO: "EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO UTILIZANDO CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO"																							
ENSAYO MARSHALL - 5.5%, 6.0% y 6.5% AC - 20, 13.00% Ceniza de cáscara de nuez y 30.00% RAP																							
Origen: Produaridos Cía. Ltda. Arias - Calle Huapante via Pillaro Provincia de Cotopaxi										Ensayado por: Ana Michelle Viteri Lascano										Fecha: Sep-24			
Gagregados 2,52708314																							
FECHA		%	de Asfalto	Muestra No	Espesor briqueta	Peso Briquetas en gramos			Peso Especifico			Volumen % TOTAL							Estabilidad		Flujo		% vacios llenos de asfalto
						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	
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	(1-G/I)*100	100-K-L	100-K	=B-(J(100-B)/100)	62.4*G						
19/10/2024	5,5	1	6,75	1110,9	1114	568,2	2,035											4223	3843	12,2504	0,91		
		2	6,65	1072,9	1079,6	547,5	2,016											3563	3328	20,0964	0,934		
		3	6,43	1039	1044	526,9	2,009											3618	3546	13,8176	0,98		
							2,020	2,335	2,322	-0,247	75,550	12,997	11,452	24,450	5,734	126,069		3572	15,39		46,8406		
19/10/2024	6	1	6,60	1065,1	1066,9	530,7	1,986											4051	3820	13,008	0,943		
		2	6,43	1019,9	1021,2	499,7	1,956											3337	3270	12,708	0,98		
		3	6,51	1014,8	1016,9	490,4	1,927											2645	2539	13,296	0,96		
							1,957	2,319	2,599	4,946	72,776	24,721	2,503	27,224	1,350	122,086		3210	13,00		9,1939		
19/10/2024	6,5	1	6,30	1037,2	1038,7	531,8	2,046											4385	4442	12,585	1,013		
		2	6,29	1030	1033	525,7	2,030				2,426							3643	3701	14,103	1,016		
		3	6,60	1033,6	1038,7	509,6	1,954											3370	3178	14,46	0,943		
							2,010	2,303	2,193	-2,332	74,369	8,338	17,294	25,631	8,681	125,425		3774	13,72		67,4710		

n) Anexo 14. APU: Mezcla Asfáltica Tradicional en planta:

TABLA LVI

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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”						
Rubro: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA					Unidad: M3	
Detalle:						
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/U	COSTO	
Herramienta menor					0,117	
Cargadora frontal	1	35	35,00	0,067	2,345	
Planta asfáltica	1	169,48	169,48	0,067	11,355	
Subtotal M					13,817	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H R	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/U	COSTO	
Engrasador o abastecedor responsable	2	4,19	8,38	0,067	0,561	
Laboratorista 2 experiencia mayor de 7 años	1	4,65	4,65	0,067	0,312	
Mecánico equipo pesado caminero	1	4,65	4,65	0,067	0,312	
Operador caldero planta asfáltica	1	4,42	4,42	0,067	0,296	
Operador cargadora frontal (Payloader sobre ruedas u orugas)	1	4,65	4,65	0,067	0,312	
Peón	2	4,14	8,28	0,067	0,555	
Subtotal N					2,347	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Diesel premium industrial		gl	1	3,146	3,146	
Aditivo para mezcla asfáltica en planta		Kg	0,057	1,66	0,095	
Arena		m3	0,3677	17	6,251	
Aditivo multipropósito (adherencia)		kg	0,057	1,66	0,095	
Asfalto AC20_		gl	28,524	1,39	39,648	
Material triturado 3/4"		m3	0,1523	16	2,437	

Material triturado 1/2"		m3	0,1497	19	2,844
Material triturado 3/8"		m3	0,6435	18,5	11,905
Subtotal O					66,420
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
Subtotal P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			82,584
		INDIRECTOS 20 %			16,517
		UTILIDAD 0 %			0,000
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			99,10

o) Anexo 15. APU: Mezcla Asfáltica Modificada en planta:

TABLA LVII

APU: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ Y RAP 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 CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ CON ASFALTO RECICLADO”					
Rubro: MEZCLA ASFALTICA EN PLANTA MODIFICADA					Unidad: M3
Detalle:					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/U	COSTO
Herramienta menor					0,117
Cargadora frontal	1	35	35,00	0,067	2,345
Planta asfáltica	1	169,48	169,48	0,067	11,355
Subtotal M					13,817
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H R	COSTO HORA	RENDIMIENTO H/U	COSTO
Engrasador o abastecedor responsable	2	4,19	8,38	0,067	0,561
Laboratorista 2 experiencia mayor de 7 años	1	4,65	4,65	0,067	0,312
Mecánico equipo pesado caminero	1	4,65	4,65	0,067	0,312
Operador caldero planta asfáltica	1	4,42	4,42	0,067	0,296
Operador cargadora frontal (Payloader sobre ruedas u orugas)	1	4,65	4,65	0,067	0,312



Peón	2	4,14	8,28	0,067	0,555
Subtotal N					2,347
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
Diesel premium industrial		gl	1	3,146	3,146
Aditivo para mezcla asfáltica en planta		Kg	0,057	1,66	0,095
Arena		m3	0,3677	17	6,251
Aditivo multipropósito (adherencia)		kg	0,057	1,66	0,095
Asfalto AC20_		gl	28,524	1,39	39,648
Material triturado 3/4"		m3	0,1523	16	2,437
Material triturado 1/2"		m3	0,1497	19	2,844
Material triturado 3/8"		m3	0,6435	18,5	11,905
Cáscara de nuez		Kg	6,0000	1,5	9,000
Hormigón asfáltico reciclado con fresadora, incluye triturada, cargada y transporte		m3	1,0200	4,9	4,988
Subtotal O					80,409
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
Subtotal P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			96,573
		INDIRECTOS 20 %			19,315
		UTILIDAD 0 %			0,000
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			115,89

Anexos Fotográficos

OBTENCIÓN DEL MATERIAL PÉTREO DE LA MINA “ARIAS PRODUCARIDOS CÍA. LTDA.”	
	
Recolección de agregado grueso	Recolección de agregado fino
OBTENCIÓN DE LAS PLANCHAS DE ASFALTO RECICLADO	
	
Ubicación de las muestras de asfalto reciclado	Recolección de planchas de asfalto reciclado
TRITURACIÓN Y QUEMADO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE NUEZ	
	
Trituración de cáscara de nuez	Tamizado de cáscara de nuez

	
Incineración de Cáscara de nuez	Ceniza de cáscara de nuez
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO Y GRUESO	
	
Ensayo Granulometría de agregado grueso	Ensayo de granulometría de agregado fino
	
Toma de material para el ensayo de abrasión material $\frac{3}{4}$ "	Realización de ensayo de Abrasión

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA	
	
Secado de agregado grueso 3/4" para ensayo de gravedad específica	Peso del material SSS 3/4"
	
Secado de agregado grueso 3/8" para ensayo de gravedad específica	Peso del material SSS 3/8"
	
Compactación de agregado fino	Verificación de ensayo gravedad específica arena

	
Toma de muestra para colocación en el picnómetro	Colocación del agua en el picnómetro para saturación y eliminación de burbujas aire
ENSAYO DE EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS	
	
Disgregación del asfalto reciclado	Recolección de RAP disgregado para la realización de ensayos
	
Peso de RAP para el ensayo de Extracción	Realización de 5 lavadas de asfalto con 500 ml c/u

	
Colocación de RAP en Centrifugadora	Lavado de asfalto culminado
	
Extracción de muestra para determinación de asfalto	Quemado de muestra
ENSAYO MARSHALL	
	
Calentado de agregados mediante fórmula maestra	Pesaje de la muestra posteriormente calentada

	
Mezcla de agregados en calor para adhesión	Engrasamiento de moldes para briquetas
	
Colocación de material para compactación	Compactación de briquetas con 75 golpes
	
Briquetas resultantes	Obtención de muestra para ensayo RICE



Secado de briquetas posteriormente saturadas en agua



Briquetas ensayadas en Máquina Marshall

ENSAYO RICE



Llenado de agua con material para ensayo RICE



Peso de los materiales



Colocación de Ollas en Máquina de Vacíos



Realización del ensayo RICE