



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

TEMA

**ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-
MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN
DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGÓN
ASFÁLTICO TRADICIONAL**

TUTOR

Mg. Ing. Civil CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

AUTORES

KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA

JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO

GUAYAQUIL

2021



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional.	
AUTOR/ES: Muñoz Figueroa Karen Beatriz Torres Tumbaco Julio Adrián	REVISORES O TUTORES: Mg. Ing. Civil Carlos Luis Valero Fajardo
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERIA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2021	N. DE PAGS: 125
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: asfalto, hormigón asfáltico, medio ambiente, pavimento, reciclaje.	
RESUMEN: Las colillas de cigarrillo forman parte de la lista de desechos contaminantes de ríos, mares, suelo y demás componentes ambientales, debido a que no existe en la mayor parte del mundo una disposición final establecida, por lo que los fumadores las arrojan en calles, aceras, playas; durando entre diez y doce años en el ambiente, debido a que el filtro que la compone es de acetato de celulosa, un elemento que no se degrada en menos de ese tiempo. Por esta razón es conveniente encontrar formas de darle a este desecho una disposición que además de cuidar el ambiente nos permita reutilizarlo en algún área que nos brinde otros beneficios como en la construcción. Incluir las colillas en una mezcla asfáltica es una de esas maneras, por lo que se llevó a cabo un estudio de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada con tres diferentes porcentajes de colillas con respecto al peso total de la mezcla, a través del ensayo Marshall, para luego poder compararlas con las propiedades de una mezcla tradicional que cumple con los parámetros establecidos en la norma respectiva y determinar si al añadir este desecho se obtiene mejoras o cumple con los requisitos mínimos de calidad. Luego de ese análisis se pudo comprobar que dos de las tres mezclas modificadas presentaron mejoras, una mayor estabilidad, niveles de flujo y porcentaje de vacíos dentro de los establecidos por la norma.	
N. DE REGISTRO:	N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Muñoz Figueroa Karen Beatriz Torres Tumbaco Julio Adrian	Teléfono: 0969517263 0969392049	E-mail: kmunozf@ulvr.edu.ec jtorrest@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. Ing. Alex Salvatierra Espinoza Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec MSC. Ing. Alexis Wladimir Valle Benítez Director de Carrera de Ingeniería Civil Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOMECÁNICAS
ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE
CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
por Karen Beatriz & Julio Adrian Muñoz Figueroa

Identificador de la entrega: 1621838333

Nombre del archivo:
TRABAJO_DE_TITULACION_MU_OZ_FIGUEROA_TORRES_TUMBACO.pdf
(3.08M)

Total de palabras: 21346

Total de caracteres: 108385

INFORME DE ORIGINALIDAD

3% INDICE DE SIMILITUD
4% FUENTES DE INTERNET
0% PUBLICACIONES
1% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scielo.cl Fuente de Internet	1 %
2	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
3	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
4	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %
5	www.unabuenasalud.com Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	id.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
8	www.cuenca.gov.ec Fuente de Internet	<1 %
9	www.obraspublicas.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Americana Trabajo del estudiante	<1 %
11	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 40 words
Excluir bibliografía Activo

Tutor:



Mg. Ing. Carlos Luis Valero Fajardo
C.I. 0925766461

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA y JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:



KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA

C.I. 0952805182

Firma:



JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO

C.I. 0930960968

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional, presentado por los estudiantes KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA y JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO/A CIVIL encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



CARLOS LUIS VALERO FAJARDO

C.C. 0925766461

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que sin duda es quien me ha permitido recorrer este camino y me ha llevado de su mano al éxito. Agradezco a mis padres por su apoyo y cuidado a lo largo de mi vida. Al Mg. Carlos Valero por su acertada orientación desde que iniciamos con el trabajo de titulación, su apoyo incondicional y los conocimientos compartidos. Agradezco de manera especial a Julio, por su ayuda desde el primer semestre, siempre supimos que no sería fácil pero que con esfuerzo y constancia lo lograríamos.

DEDICATORIA

Dedicado a Dios y a mi madre.

Karen Beatriz Muñoz Figueroa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado todas las fuerzas, sabiduría y salud para poder alcanzar una nueva meta en mi desarrollo profesional.

A mis padres Julio y Alexandra que me brindaron su apoyo incondicional y su amor para poder lograr este objetivo.

A tres personas muy especiales en mi vida, Karen, Narcisa y Rómulo, que no dejaron que jamás me rinda antes de alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos y demás familiares que creyeron en mí en todo y cada uno de los años de estudio.

A mi tutor Mg. Carlos Valero que supo guiarme y me brindó todos sus conocimientos para la ejecución de mi proyecto.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida, por darme fuerzas para culminar mis objetivos. A mis padres que fueron y son los pilares de mi vida. A mis hermanos, familiares y amigos que estuvieron a mi lado en todos mis años de estudios y a todos los docentes y profesionales que cursaron en mi vida de aprendizaje para poder terminar con éxitos mi carrera profesional.

Julio Adrian Torres Tumbaco

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
1 CAPÍTULO I	3
1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.1 Tema.....	3
1.1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.3 Formulación del Problema	6
1.1.4 Sistematización del Problema	6
1.1.5 Objetivo General	6
1.1.6 Objetivos Específicos	6
1.1.7 Justificación.....	7
1.1.8 Delimitación o alcance de la investigación	8
1.1.9 Hipótesis.....	8
1.1.10 Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	8
2 CAPÍTULO II.....	9
2.1 MARCO TEÓRICO	9
2.1.1 Marco Teórico	9
2.1.1.1 Antecedentes.....	9
2.1.1.2 Bases Teóricas de la Investigación.....	11
2.1.1.2.1 Mezclas Asfálticas	11
2.1.1.2.1.1 Generalidades	11
2.1.1.2.1.2 Mezclas asfálticas en frío	11
2.1.1.2.1.3 Mezclas asfálticas en caliente.....	11
2.1.1.2.1.4 Propiedades.....	12
2.1.1.2.1.5 Fallas comunes	14
2.1.1.2.2 Diseño de mezcla	17
2.1.1.2.3 Agregados	17
2.1.1.2.3.1 Agregados Pétreos	17
2.1.1.2.4 Cemento asfáltico.....	18
2.1.1.2.4.1 Comportamiento mecánico del Cemento Asfáltico.....	18
2.1.1.2.4.2 Contenido de asfalto	19
2.1.1.3 Mezclas Asfálticas Modificadas	20

2.1.1.3.1	Material modificante	20
2.1.1.3.2	Tratamiento previo a la incorporación	20
2.1.1.3.3	Método de incorporación del modificante	22
2.1.1.4	Colillas de cigarrillo	22
2.1.1.4.1	Filtro de acetato de celulosa.....	23
2.1.1.4.2	Degradación de la colilla de cigarrillo	23
2.1.1.4.3	Toxicidad de las colillas de cigarrillo	24
2.1.1.4.4	Valorización de las colillas	25
2.1.1.5	Diseño de mezcla asfáltica modificada	26
2.1.1.6	Comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con desechos.....	27
2.1.1.7	Beneficios de utilizar desechos como modificante.....	28
2.1.1.8	Referencias de tesis internacionales y nacionales.	29
2.1.1.8.1	Referencias de Tesis Nacionales.....	29
2.1.1.8.2	Referencias de Tesis Internacionales	30
2.1.1.9	Proyectos Análogos.	30
2.1.1.9.1	Proyectos análogos nacionales.....	30
2.1.1.9.2	Proyectos análogos internacionales	31
2.1.2	Marco Conceptual	31
2.1.2.1	Definiciones Generales.....	31
2.1.2.1.1	Hormigón asfáltico.....	31
2.1.2.1.2	Durabilidad	32
2.1.2.1.3	Estabilidad.....	32
2.1.2.1.4	Flexibilidad	32
2.1.2.1.5	Resistencia a la fatiga.....	32
2.1.2.1.6	Trabajabilidad	32
2.1.2.1.7	Ahuellamiento.....	32
2.1.2.1.8	Adhesividad	32
2.1.2.1.9	Agregados Pétreos	32
2.1.2.1.10	Asfalto	33
2.1.2.1.11	Cemento asfáltico.....	33
2.1.2.1.12	Toxicidad	33
2.1.3	Marco Legal	33

2.1.3.1	CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct-2008	33
2.1.3.2	Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021	34
2.1.3.3	Ministerio de Transporte y Obras Públicas Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos Y Puentes	34
2.1.3.4	Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM).....	34
2.1.3.5	Normas Técnicas Ecuatorianas.....	34
3	CAPÍTULO III.....	35
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1.1	Metodología	35
3.1.2	Tipo de investigación	36
3.1.3	Enfoque	36
3.1.4	Alcance.....	36
3.1.5	Técnica e instrumentos de investigación.....	36
3.1.6	Técnica	37
3.1.7	Instrumentos	37
3.1.8	Población.....	37
3.1.9	Muestra.....	37
3.1.10	Descripción del experimento.....	38
3.1.10.1	Materiales a utilizar en la mezcla asfáltica	38
3.1.10.1.1	Recolección de agregados finos y gruesos.....	38
3.1.10.2	Cemento asfáltico.....	39
3.1.10.3	Recolección de colillas de cigarrillo	39
3.1.10.4	Materiales, equipos e instrumentos para ensayos	39
3.1.10.4.1	Equipos.....	39
3.1.10.4.2	Instrumentos.....	42
3.1.10.4.3	Materiales.....	44
3.1.10.5	Diseño de mezcla asfáltica tradicional.....	45
3.1.10.5.1	Ensayo de graduación de materiales	45
3.1.10.5.2	Ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción.....	47
3.1.10.5.2.1	Material grueso	48
3.1.10.5.2.2	Material fino	49
3.1.10.5.3	Ensayo Marshall.....	51

3.1.10.5.4	Comprobación de diseño de mezcla.....	57
3.1.10.6	Determinación del porcentaje de colillas para modificar la mezcla	57
3.1.10.7	Mezcla asfáltica modificada incorporando tres diferentes porcentajes de colillas de cigarrillo	60
4	CAPÍTULO IV.....	64
4.1	INFORME FINAL	64
4.1.1	Detalle del informe.....	64
4.1.2	Resultados de ensayos	64
4.1.3	Análisis de las principales propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada.....	66
4.1.4	Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada con inclusión de colillas de cigarrillo frente a las de una mezcla asfáltica tradicional.	69
4.1.5	Análisis final	78
4.1.6	Impacto ambiental	79
5	CONCLUSIONES	81
6	RECOMENDACIONES	83
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
8	ANEXOS	88
8.1	Ensayos de Laboratorio	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Línea de investigación institucional ULVR.....	8
Tabla 2.	Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en las mezclas asfálticas.....	14
Tabla 3.	Propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada	66
Tabla 4.	Propiedades de diseño de mezcla tradicional.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Comportamiento Mecánico del CA	18
Figura 2.	Estructura física de un cigarrillo	22
Figura 3.	Distribución Porcentual de los posibles usos de colillas en diferentes industrias	25
Figura 4.	Colocación de mezcla asfáltica modificada en la vía Pifo-Papallacta.....	31

Figura 5. Diagrama metodológico.....	35
Figura 6. Planta de materiales LICOSA S.A.....	38
Figura 7. Arena de Río Chimbo	38
Figura 8. Cemento asfáltico caliente	39
Figura 9. Balanza utilizada para pesar muestras	40
Figura 10. Balanza utilizada para pesar las briquetas	40
Figura 11. Centrífuga utilizada para extracción de asfalto.....	40
Figura 12. Extractor de briquetas	41
Figura 13. Horno empleado para secado de materiales.....	41
Figura 14. Baño maría para briquetas	41
Figura 15. Extracción de vacíos	42
Figura 16. Máquina de estabilidad Marshall marca Humbolt.....	42
Figura 17. Dial de flujo utilizado en ensayo Marshall	43
Figura 18. Martillo para compactar la mezcla en el molde.....	43
Figura 19. Molde para colocar las briquetas	43
Figura 20. Termómetro para control de temperatura	44
Figura 21. Papel filtro.....	44
Figura 22. Papel encerado para hornear	45
Figura 23. Secado de material al ambiente	45
Figura 24. Tamices a utilizar en el ensayo	45
Figura 25. Muestra de cisco, arena y piedra.....	46
Figura 26. Peso del material retenido en el tamiz 200	46
Figura 27. Muestra de cisco pesada	46
Figura 28. Primer lavado de muestra de cisco	47
Figura 29. Muestra antes y después del lavado	47
Figura 30. Material saturad con agua para realizar ensayo de Gravedad Específica	48
Figura 31. Pesando la canastilla sumergida en agua	48
Figura 32. Tara con muestra en el horno.....	49
Figura 33. Comprobación se saturación superficial del cisco	49
Figura 34. Muestra de cisco	50
Figura 35. Peso de probeta + agua	50
Figura 36. Peso probeta + agua + material.....	50
Figura 37. Colocando material en una tara	51
Figura 38. Peso de material seco en la estufa.....	51
Figura 39. Colocando agregados a calentar en el horno	52
Figura 40. Peso de muestra de asfalto	52
Figura 41. Mezcla de agregados con asfalto	53
Figura 42. Compactación de mezcla para formar briquetas.....	53
Figura 43. Briquetas en baño maría	54
Figura 44. Ensayo Marshall	54
Figura 45. Muestra en olla de picnómetro.....	55
Figura 46. Extrayendo vacíos con picnómetro.....	55

Figura 47. Mezcla de asfalto con gasolina lista para colocar en la centrífuga.....	56
Figura 48. Colocación de filtro	56
Figura 49. Peso de muestra luego de extraer el asfalto	57
Figura 50. Pesando briquetas de comprobación.....	57
Figura 51. Muestra de 60 g de colillas recicladas	58
Figura 52. Colillas absorbiendo el asfalto y emergiendo burbujas	58
Figura 53. Sacar colillas con espátula	59
Figura 54. Muestra de colillas encapsuladas	59
Figura 55. Peso de muestra de colillas encapsuladas	59
Figura 56. Agregados pesados de acuerdo al diseño listos para el horno	60
Figura 57. Removiendo el asfalto caliente	60
Figura 58. Peso de asfalto para muestra con 0.25% de colillas	61
Figura 59. Colocando colillas encapsuladas	61
Figura 60. Mezcla asfáltica con adición de colillas recicladas	61
Figura 61. Briquetas con mezcla modificada	62
Figura 62. Ensayo Marshal a mezcla modificada	62
Figura 63. Colillas retenidas en el tamiz #4	62
Figura 64. Formato para cálculo de gravedades específicas	63
Figura 65. Gráfico de Estabilidad VS % de colillas en mezcla modificada.....	67
Figura 66. Gráfico de Flujo VS % de colillas en mezcla modificada	67
Figura 67. Gráfico de porcentaje de vacíos VS % de colillas en mezcla modificada	68
Figura 68. Especificaciones generales del MTOP para mezclas asfálticas en caliente.....	69
Figura 69. Gráfico comparativo de Estabilidad de las mezclas	70
Figura 70. Gráfico comparativo de Flujo de las mezclas	72
Figura 71. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas.....	73
Figura 72. Gráfico comparativo de GE Bulk de las mezclas	74
Figura 73. Gráfico comparativo de la GE Rice de las mezclas.....	75
Figura 74. Análisis granulométrico de mezcla típica.....	76
Figura 75. Análisis granulométrico de mezcla con 0.25% de colillas	76
Figura 76. Análisis granulométrico de mezcla con 0.5% de colillas	77
Figura 77. Análisis granulométrico de mezcla con 0.75% de colillas	77

INTRODUCCIÓN

La Revolución Industrial marcó el inicio de una sociedad mecanizada, urbanizada y próspera en el comercio, esto ha causado que se cree una larga lista de industrias que utilizan recursos naturales como materia prima, los cuales pueden agotarse, y además producen productos que se convierten en un desecho ya que no se degradan en el ambiente, sino que permanecen en él dañando o contaminándolo.

En la mayoría de las industrias los productos se vuelven un desecho y ya no se reutilizan o se reciclan, tal es el caso de la industria tabacalera que con el paso del tiempo ha mejorado su técnica para filtrar el humo que se produce al fumar tabaco, creando filtros de acetato de celulosa, un compuesto químico que no se degrada en el ambiente, y que luego de fumar el tabaco solo se convierte en un residuo.

Los fumadores no conocen o no se los educa para que desechen la colilla en un lugar apropiado, pero, ¿existe ese lugar apropiado?, la respuesta de un fumador probablemente es no, por eso solo se desecha en la acera, en la calle, en la playa, en el parque, en cualquier lugar donde el fumador termine de consumir su cigarrillo, es ahí donde este pequeño residuo se convierte en un problema.

El problema de que sea un residuo que termina mayormente en las playas o en los océanos es que causa la muerte de animales que lo comen pensando que es comida y al filtrar el humo del tabaco la cantidad de sustancias tóxicas que atrapa son alrededor de siete mil, las cuales al entrar en contacto con el agua se disuelven y contaminan, estudios han demostrado que una colilla puede contaminar hasta 50 litros de agua.

Ante este escenario, un lugar de disposición final para las colillas es de suma importancia para disminuir el daño que se genera al ambiente, además de crear ideas innovadoras, planteando incluir colillas de cigarrillo al hormigón asfáltico, un material utilizado en todo el mundo para la construcción de carreteras.

En el Capítulo I se plantea el problema con mayor detalle, su formulación y sistematización que conduce a plantear objetivos específicos para cumplir un objetivo general, se justifica y delimita la investigación para finalmente plantear una hipótesis.

En el Capítulo II se detalla las bases teóricas de la investigación, las cuales amplían el conocimiento del investigador, despejan dudas y reafirman los conocimientos ya adquiridos.

En el Capítulo III se detalla la metodología, definiendo el tipo y enfoque de la investigación, además de detallar los pasos a seguir del investigador para llevar a cabo todas las pruebas y ensayos necesarios para evaluar la investigación y cumplir los objetivos.

En el Capítulo IV se detalla el informe final, el cual contiene los resultados que se obtienen en las pruebas realizadas, y los análisis necesarios que llevan al cumplimiento de los objetivos. Finalmente se presenta las conclusiones obtenidas y las recomendaciones a nuevos investigadores que dieran darle continuidad a la investigación planteada.

1 CAPÍTULO I

1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1 Tema

Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional.

1.1.2 Planteamiento del Problema

Existen contaminantes medioambientales muy peligrosos, en su mayoría creados y desarrollados por la industria, la misma que en su mayoría no analiza el impacto que puede causarle al planeta, un ejemplo de esto son las colillas de cigarrillo, las cuales son básicamente un filtro de acetato de celulosa que no es biodegradable y además contiene sustancias químicas que se liberan al entrar en contacto con el agua o con el suelo.

El cigarrillo tiene su origen en el año 1825 donde surgen los primeros cigarros de papel manufacturados y empaquetados, pero fue en 1957 cuando se empezaron a comercializar los primeros cigarrillos con filtro adaptado, idea que surgió del español Rubén Galindo debido a que los consumidores de una tienda de tabacos a la que él asistía, se quejaban de inhalar directamente todo el humo, por lo que desarrolló una manera de filtrar las partículas tóxicas del humo que estos desprenden al quemarse, idea que luego fue vendida a Philip Morris, hoy en día la mayor empresa tabacalera del mundo y la misma que al pasar de los años ha desarrollado dicho filtro hasta convertirlo en lo que hoy se conoce como un filtro de acetato de celulosa.

De acuerdo a cifras proporcionadas por la Organización Mundial de la Salud cada año se producen en el mundo 6.5 trillones de cigarrillos de los cuales 4.5 trillones terminan en el medio ambiente, convirtiéndose en el primer contaminante a nivel mundial por encima de las bolsas plásticas, las botellas, sorbetes y demás comúnmente conocidos, aunque este elemento puede parecer pequeño e inofensivo, libera 7.000 sustancias químicas tóxicas entre las cuales prevalecen plomo, arsénico, cadmio, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros, sustancias que no son compatibles con los seres vivos.

El acetato de celulosa, según estudios realizados por diferentes países como Estados Unidos, México, Australia entre los destacados, tarda de diez a doce años en degradarse con la ayuda del sol y la humedad, sin embargo, las fibras que se desprenden permanecen en el ambiente y fácilmente son consumidas por las especies marinas, muchos científicos han encontrado estos desechos en los cuerpos descompuestos del 70% de las aves marinas y 30% de las tortugas de mar.

Las colillas de cigarrillo son desechadas por los consumidores en cualquier lugar, desde aceras hasta playas, acorde con información de la Organización Mundial de la Salud las personas tiran dos de cada tres colillas en la calle, lo que representa cerca de 137.000 colillas por segundo a escala mundial y que en su mayoría terminan en los ríos y océanos siendo consumidas por la fauna aquí presente, causándoles la muerte. De acuerdo a datos proporcionados por la organización ambientalista norteamericana Ocean Conservancy, las colillas de cigarrillo representan entre el 30% y 40% de la basura urbana y costera que se ha recogido en 152 países donde trabajan desde 1986, siendo las colillas de cigarrillo el elemento que más encuentran dentro de los desechos.

En España una publicación del 2018 de la RTVE (Radiotelevisión española) informa que en este país se consumen cerca de 90 millones de cigarrillos al día, lo que se transforma en 32.800 millones al año, de los cuales un 15% de colillas termina en las playas del país. De acuerdo al Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB) el 30.6% de basura acumulada en la arena de las playas son de colillas, por lo que en este país se implementó una medida para sancionar a quienes arrojen colillas en el suelo. Estas personas deben pagar una multa de 750 euros en Madrid y 90 euros en Barcelona. En Holanda también es sancionado este acto con una multa de 130 euros y en Bélgica, capital de Bruselas, la multa asciende a 200 euros, además de contar con agentes antitabaco que se encuentran en las calles para captar y capturar a los infractores.

Australia a pesar de ser el país más costoso para fumar genera 4.000 millones de colillas al año, y en el 2020 la multa fijada para quien arroje colillas de cigarrillo aún encendidas al suelo ha sido fijada en 7.447 dólares.

El Instituto Tecnológico de Costa Rica sitúa en la posición siete a las colillas de cigarrillo como elemento contaminante, en México 3 de cada 10 personas son fumadoras y aproximadamente el 65% arroja las colillas en el suelo, en Sao Paulo, Brasil, se consumen diariamente 200 millones de cigarrillos, las cifras son realmente alarmantes, por lo que en estos lugares las sanciones a quienes arrojan las colillas están siendo analizadas por las autoridades.

Por otra parte, la Universidad de Longwood (Estados Unidos) realizó un estudio sobre el efecto de las sustancias liberadas por las colillas sobre la pulga de agua, crustáceo base de la cadena alimenticia en ecosistemas de agua dulce. Concluyendo que, para concentraciones de menos de 0,125 colillas por litro, las pulgas de agua mueren en menos de 48 horas. Una colilla provoca la contaminación de ocho litros de agua.

Chile es otro de los países donde las colillas han sido durante años el principal elemento contaminante de la urbe y de sus playas, por lo que desde el año 2005 la Armada junto con la Ocean Conservancy lideran campañas de recolección y de concientización, las que tienen poco éxito ya que cada cuatro años realizan revaluaciones y la basura en las playas aumenta un 20%, porcentaje liderado por las colillas de cigarrillo.

En Ecuador no se tiene un dato exacto de la cantidad de cigarrillos que se consumen diaria o anualmente, sin embargo, de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) se conoce que el 85.5% de los hombres ecuatorianos fuman diariamente, en la ciudad de Guayaquil un ciudadano fuma un promedio de 7 cigarros al día, seguido por Cuenca y Machala donde una persona consume 6 cigarrillos al día.

Diario El Comercio realizó una publicación en el año 2014 indicando que el 26% de la basura de las playas ecuatorianas corresponde a colillas de cigarrillo y a pesar de que en el año 2011 Ecuador adoptó la Ley Orgánica para Regulación y Control de Tabaco, donde se introducen normas para los consumidores y vendedores, no refleja gran interés por el desecho que se genera o por la disposición final de los mismos.

A pesar de las leyes adoptadas, las multas que se imponen o las múltiples campañas que se llevan a cabo, la contaminación ambiental es uno de las más grandes problemas de la sociedad, por lo que hoy en día los habitantes tienen un compromiso con el ambiente para evitar que se siga deteriorando, ya que esto afecta a todos en el planeta, tornándose importante desarrollar alternativas o soluciones que permitan detener el rápido avance de la contaminación, por las razones antes mencionadas este estudio se plantea buscar un sitio de disposición final de las colillas de cigarrillo que coadyuve a mejorar los índices de contaminación de este tipo.

1.1.3 **Formulación del Problema**

¿De qué manera influirá en las propiedades físico-mecánicas del hormigón asfáltico la inclusión de colillas de cigarrillo recicladas como parte de sus agregados?

1.1.4 **Sistematización del Problema**

- ¿Cuál será la dosificación de colillas de cigarrillo recicladas a incluirse como parte de los agregados para la elaboración del hormigón asfáltico?
- ¿Cuál será el comportamiento del hormigón asfáltico al adicionar colillas de cigarrillo recicladas?
- ¿Cuál será el impacto ambiental que genera reciclar colillas de cigarrillo y utilizarlas como parte de una mezcla asfáltica?

1.1.5 **Objetivo General**

Analizar las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional.

1.1.6 **Objetivos Específicos**

- Definir la dosificación de colillas de cigarrillo recicladas que se incluirán como parte de los agregados para la elaboración de hormigón asfáltico.
- Analizar el comportamiento del hormigón asfáltico al adicionar colillas de cigarrillo recicladas.
- Determinar el impacto ambiental que genera reciclar colillas de cigarrillo y utilizarlas como parte de una mezcla asfáltica.

1.1.7 Justificación

Los tres pilares fundamentales sobre los cuales se apoya el Desarrollo Sustentable de la Industria de la Construcción son: en primer lugar, el reciclaje y conservación de los materiales y recursos; en segundo término, el mejoramiento de la durabilidad de las estructuras; y, por último, el uso y aprovechamiento de los subproductos de otras industrias, los que habitualmente son considerados residuos.

A partir de lo antes mencionado, reciclar las colillas de cigarrillo para utilizarlas como agregado en la mezcla asfáltica tiene como fin aportar al desarrollo sustentable desde la industria de la construcción, convirtiéndose en una alternativa para reducir la contaminación que se produce al medio ambiente y en una manera de aportar positivamente al cuidado del ecosistema, agregar colillas de cigarro a la mezcla de hormigón asfáltico puede reducir la cantidad de acetato de celulosa que genera años enteros de contaminación y daño al planeta.

Desde un ángulo ambiental, la investigación busca reutilizar el primer contaminante del mundo en un material de construcción que permitirá encapsular las colillas para que su destino final no sea como alimento de aves o de especies marinas, es importante mencionar también que en Ecuador este desecho no tiene una disposición final o no se trata como lo que es, un desecho altamente tóxico, por lo que utilizarlo como agregado de un material bastante utilizado en el país se convierte en una alternativa de solución.

Desde el punto de vista constructivo se pueden generar ahorros significativos al reemplazar parte del agregado grueso por las colillas, así mismo el efecto que genere el filtro de acetato de celulosa en el comportamiento del pavimento se espera sea muy bueno. Se genera un material de construcción sostenible, materiales que cada vez más van ganándose espacio en el mundo de la construcción, aumentando su utilización con respecto a los materiales tradicionales porque generan un impacto positivo a la sociedad, a la economía y sobre todo al ambiente.

Determinar cuántas colillas se pueden reciclar y la cantidad de años que puede devolverse al ecosistema al reutilizar este desecho elaborando un material de construcción sostenible, se convierte en la importancia de realizar la investigación.

Este estudio se debe realizar también porque va a generar importantes aspectos teóricos con respecto a la variable hormigón asfáltico agregando colillas de cigarrillo recicladas y se revisarán desde el punto de vista teórico, aspectos conocidos en cuanto a la variable hormigón asfáltico tradicional.

Además, porque afianzará el uso de métodos aplicables en tesis cuantitativas, así como, revisará la metodología en cuanto al diseño de mezclas asfálticas con nuevos materiales reciclados.

1.1.8 Delimitación o alcance de la investigación

Campo:	Educación Superior. Tercer nivel
Área:	Ingeniería Civil.
Aspecto:	Investigación Experimental.
Tema:	Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional.
Delimitación espacial:	Guayaquil- Ecuador
Delimitación temporal:	6 meses

1.1.9 Hipótesis

Las propiedades físico-mecánicas del hormigón asfáltico con colillas de cigarrillo recicladas son mejores que las de un hormigón asfáltico tradicional.

1.1.10 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1.

Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en las mezclas asfálticas

Dominio	Línea Institucional	Línea de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2019)

Elaborado por: Muñoz & Torres (2020)

2 CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Marco Teórico

2.1.1.1 Antecedentes

Las colillas de cigarrillo son un desecho sólido generado por el ser humano en su cotidianidad, generalmente depositado en el suelo que luego se convierte en un grave peligro para el ambiente, “representan una seria amenaza para los organismos vivos y la salud del ecosistema cuando se descartan en el medio ambiente porque son tóxicos para los microbios, los insectos, los peces y los mamíferos.” (Bonanomi, Incerti, Cesarano, Gaglione y Lanzotti, 2015, p. 1)

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) afirma que anualmente se consumen 6.5 trillones de cigarrillos en el mundo y los restos de 4.5 trillones de ellos acaban en el medio ambiente. Afirma también que “las colillas de cigarrillo representan entre el 30% y el 40% de los objetos recogidos en las actividades de limpieza costera y urbana”. (p.1)

Debido a las alarmantes cifras antes mencionadas, la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, SEPAR, llevó a cabo una investigación donde concluye que los restos de cigarrillos constituyen la primera fuente de basura mundial, por delante de los envases de alimentos, botellas y bolsas de plástico. (Izquierdo, 2017)

De la cantidad de efectos colaterales que causa un cigarrillo desde que se cultiva el tabaco, el problema principal son las colillas, las cuales “contienen más de 7000 sustancias químicas tóxicas que envenenan el medio ambiente, algunas de ellas cancerígenas para el ser humano.” (OMS, 2017), y que además se componen de un filtro de acetato de celulosa no biodegradable desde hace muchos años, “los cigarrillos filtrados saltaron del 5% en 1953 al 20% en 1955, y para 1975, el 90% de los cigarrillos fabricados contenían filtros”. (Kurmus y Mohajerani, 2020)

Convirtiéndose en una problemática que afecta al mundo entero y con las iniciativas de sustentabilidad que se impulsan en la actualidad por parte de líderes políticos, ambientales e investigadores, se han desarrollado nuevas investigaciones que buscan darle una nueva vida a las colillas de cigarrillo, puesto que erradicar el tabaquismo es una tarea que durante años ha sido bastante difícil de cumplir, pese a todos los esfuerzos, el ser una actividad adictiva que involucra a la nicotina no contribuye su erradicación, sumado a esto los intereses de la industria tabacalera. Por estas razones se inició la búsqueda de soluciones alternativas.

Kurmus y Mohajerani (2020), presentan una recopilación de varios estudios donde se analiza la utilización de la colilla de cigarrillo como materia prima o como parte de un material existente causando mejoras en el mismo, algunas de las aplicaciones son

su incorporación en la mezcla para fabricar ladrillos de arcilla cocida en la que se indica que “la adición de colillas de cigarrillo demostró una disminución en la densidad seca produciendo ladrillos livianos.” (p.115).

Se ha producido también pulpa de celulosa en la que “los resultados experimentales confirmaron que la pulpa de celulosa podría, de hecho, ser utilizada en la industria del papel.” (p.112) Otra forma de utilizar las colillas puede ser como material absorbente de sonido “la investigación consistió en analizar el rendimiento acústico de un nuevo tipo de material utilizando colillas de cigarrillo usadas y no usadas. (...) Los resultados revelaron un alto coeficiente de absorción.” (p.114)

Por otra parte, Rahman, Mohajerani, y Giustozzi (2020a) presentan:

Una técnica novedosa y sostenible para reciclar colillas de cigarrillo en betún para la construcción de pavimentos flexibles. En esta investigación, las colillas de cigarrillo se han pre procesado y mezclado con las clases de betún C320, C170 y PMB A10E como modificador de fibra. (p.1)

Así como las investigaciones antes mencionadas, existen muchas otras con el objetivo de utilizar de alguna manera la colilla de cigarrillo y donde se ha obtenido buenos resultados inclusive desde las primeras pruebas.

Por otra parte, dentro del ámbito de la construcción un problema bastante común en los sistemas viales son las prontas fallas que sufren las carpetas asfálticas, Ortiz y Macías (2018) indican que “las capas de rodadura, presentan problemas recurrentes y críticas generalizadas de los usuarios por las dificultades que ocasiona al tráfico vehicular, desembocando en frecuentes reparaciones, daños prematuros de las calzadas y el uso de altos presupuestos para el mantenimiento” (p.3).

En Ecuador gran parte de las vías de primer orden presentan fallas, a pesar de que su tiempo de construcción no es antiguo, Bravo (2018) describe el proceso que generalmente todos los usuarios de las vías pueden presenciar, “primero aparecen unas fisuras sobre la calzada. (...), estas se hunden y el asfalto comienza a desmenuzarse. Luego se presentan pequeños huecos que se convierten en baches y con los fuertes cambios de temperatura, de sol a lluvias, se agrandan.”

Las mejoras de los sistemas viales son uno de los deseos de sus usuarios, y en la actualidad se busca también que esas mejoras vengan sujetas de la sustentabilidad. Por tal motivo, este estudio busca plantear una nueva solución alternativa para darle una segunda vida útil a las colillas de cigarrillo mediante su incorporación en una mezcla de hormigón asfáltico buscando mejorar sus propiedades y rendimiento.

2.1.1.2 Bases Teóricas de la Investigación

2.1.1.2.1 Mezclas Asfálticas

2.1.1.2.1.1 Generalidades

Conocer acerca de las mezclas asfálticas y de sus componentes es una de las principales bases para lograr un diseño modificado de esta mezcla.

Rondón y Reyes (2015) establecen que “Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in situ.” (p.37)

La tipología de las mezclas asfálticas de acuerdo a Gargate y Huamaní (2018) son:

- Mezclas asfálticas en frío.
- Mezclas asfálticas en caliente. (p.29)

2.1.1.2.1.2 Mezclas asfálticas en frío

Gargate y Huamaní (2018) indica que:

El asfalto de mezcla en fría es la opción más asequible en el mercado, ya que no necesita calor durante el proceso. Por lo general, se usa para reparar grietas de más de una pulgada de ancho y baches que aparecen durante los meses de invierno. No es un sustituto de una reparación formal con mezcla caliente o asfalto de mezcla caliente durante los meses más cálidos, ya que no durará tanto tiempo. Esta mezcla asfáltica normalmente dura más que el pavimento circundante más del 90% del tiempo. (p.29)

Rondón y Reyes (2015) mencionan algunas ventajas y desventajas de utilizar este tipo de mezclas en proyectos viales:

Ventajas

- Impermeabilizan superficialmente el pavimento.
- Mayor resistencia al envejecimiento y oxidación del asfalto.
- Facilidad constructiva al ser extendidas y compactadas a la temperatura ambiente.

Desventajas

- Por su baja porosidad la textura superficial no es la mejor para obtener buena fricción neumático-pavimento.
- Ayudan a la generación de láminas de agua superficiales durante lluvia, incrementando la probabilidad del fenómeno de hidroplaneo y aumentando el grado de accidentalidad en las vías. (p.54)

2.1.1.2.1.3 Mezclas asfálticas en caliente

Gargate y Huamaní (2018) identifica a este tipo de mezclas como

Una mezcla flexible que es altamente resistente a la intemperie y capaz de repeler el agua. (...) Se utiliza en aproximadamente un tercio de los proyectos de pavimentación. Se fabrica entre 200 y 250 grados y utiliza menos recursos de combustibles fósiles en el proceso de fabricación. (...) Se puede enviar a distancias más largas y durante un período de tiempo mayor durante el año, por lo que los proyectos de construcción nocturnos o de invierno normalmente lo utilizan. (p.29)

Rondón y Reyes (2015) por su parte establecen que “son mezclas que se deben fabricar, extender y compactar a altas temperaturas. La temperatura de fabricación de esta mezcla oscila entre 110 y 120 °C. Su principal campo de aplicación son los bacheos y las capas de rodadura.”

Mencionan también algunas ventajas y desventajas de utilizar este tipo de mezclas en proyectos viales:

Ventajas

- Ayudan a reducir el grado de accidentalidad en las vías debido a que disminuyen el fenómeno de hidroplaneo al permitir el ingreso del agua a la mezcla durante lluvia.
- Buena textura superficial, mejorando la fricción neumático-pavimento.
- Disminuyen el ruido de rodadura.

Desventajas

- Por su alta porosidad son de baja rigidez y resistencia mecánica.
- El asfalto dentro de la mezcla se oxida y envejece rápidamente debido a la fácil entrada y posterior evaporación del agua.
- Dificultad de construcción al ser extendidas y compactadas a alta temperatura. (p.50)

Estas clasificaciones encierran dos metodologías básicas utilizadas en la fabricación de mezclas asfálticas, para la investigación se utilizará una mezcla asfáltica en caliente, ya que es la de mayor uso para capas de rodadura.

2.1.1.2.1.4 **Propiedades**

Las mezclas asfálticas poseen diferentes propiedades que deben cumplir los estándares necesarios para los requerimientos de los proyectos, la investigación contempla un análisis de las propiedades físico mecánicas del hormigón asfáltico.

Rondón y Reyes (2015) establecen que “las principales propiedades que se desean en las mezclas son:

- Resistencia bajo carga monotónica a tracción (estabilidad).
- Resistencia a las deformaciones permanentes.

- Resistencia a fatiga.
- Resistencia al deslizamiento.
- Impermeabilidad.
- Resistencia al envejecimiento.
- Durabilidad.” (pp. 37-38)

López y Miró (2017) por su parte afirman que:

Las propiedades del enlace árido-ligante juegan un papel crucial en el comportamiento de las mezclas asfálticas. La razón de que las mezclas asfálticas no sean calificadas como materiales granulares disgregados es la presencia del componente mástico, que sirve de “pegamento” que mantiene los áridos unidos bajo carga. Es por ello que la adherencia del ligante a la superficie de los áridos es esencial. (p.14)

Matta y Perez (2019) son más específicos en cuanto a propiedades físicas y mecánicas y exponen que:

Teniendo la mezcla asfáltica en calientes propiedades físicas como la durabilidad, una característica la cual le permite aguantar fuerzas externas y sin doblarse ante el paso del tiempo. Cuando presentan una cantidad de asfalto por debajo de los parámetros, el que sufre son los demás elementos ya que estas se desintegran, en el caso que los vacíos sean mayores de lo permitido el pavimento presentará fallas como comenzar a agrietarse. (p.5)

También debe tener impermeabilidad, la cual es una característica que trata de no tener muchos vacíos en su estructura, evitando que tenga fallas como la separación de los elementos de la mezcla por tener una cantidad en asfalto por debajo de lo permisible. Y como tercer punto la trabajabilidad, como su nombre lo dice, es la forma cómoda de manejar los elementos en su combinación, siendo beneficioso tener una proporción de todos los componentes en armonía para su mejor desempeño. (p.6)

Asimismo, también presenta propiedades mecánicas como la estabilidad, el cual es la definición de tener la capacidad de aguantar las fuerzas ejercidas por el tránsito ante desequilibrios y deslizamientos, terminando siempre con la misma figura que inició. (p.6)

En simultaneo también debe tener flexibilidad, teniendo la capacidad de ante desplazamientos, desequilibrios poder ajustarse para así tener como finalidad disminuir las posibles fallas que pueda presentar el pavimento. (p.6)

También debe tener resistencia a la fatiga, lo que nos quiere decir es que con esta característica tiene que ser una estructura que aguante fuerzas continuas que son ejercidas por los vehículos, algo que lo perjudica en este accionar es la de tener asfalto en exceso. (p.6)

Y finalmente resistencia al deslizamiento, lo cual se produce entre la fuerza que ejerce el movimiento de las ruedas del vehículo en la estructura del pavimento cuando se encuentra con una capa de agua, evitando que se produzcan fallas. (p.6)

Por tanto, la mezcla debe presentar al menos las propiedades antes mencionadas para que preste los servicios requeridos por el proyecto vial sin presentar mecanismos de daño, la mezcla deberá diseñarse y evaluarse mediante ensayos de laboratorio que permitan dosificar adecuadamente los agregados para evitar las fallas comunes.

2.1.1.2.1.5 Fallas comunes

Así como la mezcla tiene sus propiedades también presenta fallas “los cuatro principales mecanismos de daño de mezclas asfálticas en servicio, (...) que se deben tener en cuenta en el diseño del pavimento, son el ahuellamiento, los agrietamientos por fatiga, el daño por humedad y el envejecimiento.” (Rondón y Reyes, 2015, p.123)

“El ahuellamiento es afectado principalmente por tres factores: mezcla (gradación del agregado, grado de funcionamiento PG del ligante, contenido de asfalto), carga (presión de llanta, tipo de eje) y ambiente (temperatura, humedad, precipitación).” (Rondón y Reyes, 2015, p.124)

Estos factores pueden interpretarse de mejor forma a través de la siguiente tabla:

Tabla 2.

Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en las mezclas asfálticas

Materiales y mezcla	Factor	Cambio en el factor	Efecto sobre la resistencia al ahuellamiento
Agregados Pétreos	Textura superficial	Liso a rugoso	Incrementa
	Forma	Redondo a angular	Incrementa
	Tamaño	Incremento en tamaño máximo	Incrementa
Ligante asfáltico	Rigidez	Incremento	Incrementa
Mezcla	Contenido de ligante	Incremento	Disminuye
	Contenido de vacíos	Incremento	Disminuye
	Grado de compactación	Incremento	Incrementa

Fuente: Rondón y Reyes (2015)

Elaborado por: Muñoz & Torres (2020)

Los agrietamientos por fatiga de acuerdo a Rondón y Reyes (2015) establecen que:

Usualmente se reconocen dos fases de daño durante el fenómeno de agrietamiento por fatiga. La primera fase, denominada fase de iniciación, corresponde a la aparición y propagación de una red de microfisuras, las cuales se extienden de manera uniforme en la mezcla asfáltica generando disminución de la rigidez de esta.

Durante la segunda fase, llamada fase de propagación, se presenta la unión de las microfisuras y por lo tanto la aparición de fisuras de mayor tamaño (macro-crack), que se propagan dentro del material. La aparición y la velocidad de avance de cada una de las fases de daño dependen principalmente de la rigidez de la mezcla asfáltica.

En una mezcla asfáltica muy rígida la aparición de la primera fase de daño es tardía, pero una vez esta ha iniciado, la aparición y el avance de la segunda fase de daño ocurren rápidamente. En una mezcla de baja rigidez ocurre el caso contrario, pues aunque la primera fase del daño por fatiga inicia rápidamente, la aparición y el avance de la segunda fase ocurren de manera muy lenta. (p.167)

Indican también que:

El contenido de vacíos de aire y el contenido de asfalto son dos de las características de las mezclas que más afectan el desempeño de un pavimento flexible. El contenido de asfalto debe ser suficientemente grande para proporcionar una adecuada resistencia a la fatiga y durabilidad, y al mismo tiempo debe ser suficientemente pequeño para minimizar el ahuellamiento, la exudación y la inestabilidad estructural. El contenido de vacíos con aire (que es relativo a la compactación) debe ser suficientemente pequeño para evitar la degradación de la mezcla con la aplicación de carga y no debe ser tan grande, pues se deben evitar la inestabilidad estructural y la exudación. (p.193)

Por otra parte, con respecto al contenido de asfalto esto autores afirman que:

Este es el factor de mayor influencia sobre el comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas. (...) y el contenido óptimo de asfalto que depende tanto del tipo de agregado como de la gradación, parece corresponder al contenido de asfalto que se requiere para lograr la máxima rigidez de la mezcla y es superior al porcentaje de ligante que se determina con base en el método Marshall. (P.96-197)

Otra de las fallas que se producen en las mezclas asfálticas es la de daño por humedad, “las causas que generan este fenómeno son complejas ya que involucran aspectos físicos, químicos, mecánicos y termodinámicos.” (Rondón y Reyes, 2015, p.223)

Muchas veces resulta difícil identificar el daño por humedad, debido a que los indicadores en la superficie pueden tardar años en mostrarse. A esto hay que añadir que las manifestaciones en el firme, debidas al deterioro causado por la presencia del agua, son similares a las producidas por otros factores como los materiales, el diseño de la mezcla bituminosa y su construcción. (López y Miró, 2017, p. 14)

Para López y Miró (2017) el enlace árido-ligante es esencial en el comportamiento de la mezcla y plantean que se debe hablar de adhesividad antes de referirse a daño por humedad. Esto basado en que:

Se han llevado a cabo muchos estudios para obtener, describir y medir la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas. La mayoría de ellos realizan una medida comparativa del daño por humedad, ya sea a través de la observación visual de los datos de campo o laboratorio, o por medio de ensayos mecánicos, que permiten obtener un parámetro, índice de daño por humedad, basado en valores de trabajo de adhesión. (p.14)

La adhesividad es una propiedad relativa, ya que el mismo ligante presentará buena o mala adhesividad según las características de la superficie de los materiales que se utilicen en la obra. Una condición necesaria para que exista adherencia entre el árido y el ligante es que ambos estén en contacto y que el árido esté siempre limpio y seco. Como el ligante es un líquido, éste debe mojar al árido. Y, por tanto, hay que estudiar ambos para poder deducir su comportamiento cuando se produce el contacto. (p. 16)

Una mezcla asfáltica que tenga mala adherencia, tendrá un mal comportamiento mecánico y, sin duda, mostrará un patrón de fallo adhesivo. El fallo adhesivo ocurre dentro de la unión árido-ligante. Cuando el agua penetra en la interfase entre el árido y el ligante, se reduce el contacto entre los dos materiales y causa un fallo de adherencia. (p.22)

Lo que se puede concluir es que si bien el daño por humedad se da cuando el agua ya sea en estado líquido o vapor, alcanza el interior de la estructura del material, causándole daños, esta solo puede llegar si la unión del árido y el ligante falla. Por lo que es importante que si esto llega a suceder se pueda identificar los modos de infiltración que pueden darse, “existen tres modos principales de transporte de agua en el interior de las mezclas asfálticas: permeabilidad, ascensión capilar y difusión, los cuales dependen de las condiciones ambientales y de la estructura de los huecos en la mezcla.” (López y Miró, 2017, p.26)

Finalmente, otra de las fallas comunes es el envejecimiento en pavimentos flexibles, de acuerdo con Rodríguez D., Rodríguez C., Ramírez y Flórez (2016) este mecanismo de falla

Ha sido durante mucho tiempo uno de los principales problemas que afectan la calidad y el tiempo de vida útil de la carpeta de rodadura. En este fenómeno intervienen, por un lado, causas asociadas a variables intrínsecas como el tipo de agregados, contenido de vacíos y las características propias de la mezcla asfáltica y, por otro lado, factores externos como la humedad, temperatura y radiación, los cuales provocan daños imposibles de eliminar, pero posibles de minimizar. Los efectos que se producen corresponden en muchos casos a modificadores de orden químico, es decir, en las relaciones moleculares de la mezcla. (p.48)

Al momento de diseñar la mezcla asfáltica se debe realizar una correcta proporción de sus agregados, se debe seleccionar materiales de calidad y realizar las respectivas pruebas que permitan evitar todo este tipo de fallas a fin de alargar la vida útil del pavimento.

2.1.1.2.2 **Diseño de mezcla**

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico. “Un diseño adecuado de una mezcla asfáltica debe llevarse a cabo con los materiales que representen de la mejor manera el comportamiento de estas en la obra.” (Chimborazo, 2012, p.101)

Las proporciones relativas de los materiales que componen la mezcla son las que van a determinar sus propiedades y eventualmente su desempeño, por lo que determinar el método por el que se va a diseñar es también un paso importante, Chimborazo (2012) explica que:

La práctica de diseño de mezclas asfálticas, ha recurrido a diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en el laboratorio; el método más utilizado en el Ecuador es el método Marshall, ya que este método es el más tradicional y difundido en la rama de la construcción de vías y carreteras en nuestro país. (p.101)

El método Marshall tiene como objetivo “determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente” (Minaya y Ordoñez, 2001, p.103)

De acuerdo a lo que exponen Minaya y Ordoñez (2001):

El método consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. (...) Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinado su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura. (p.103)

2.1.1.2.3 **Agregados**

2.1.1.2.3.1 **Agregados Pétreos**

Dentro de una estructura de pavimento con capa asfáltica, los agregados pétreos más exigentes, en cuanto a durabilidad, textura y resistencia mecánica se refieren, son aquellos que conforman las mezclas asfálticas. En estos últimos materiales los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. Dentro de las mezclas asfálticas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. (Rondón y Reyes, 2015, p.39)

De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el

ahuellamiento, la fatiga, el stripping y el daño por humedad. Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas. (Rondón y Reyes, 2015, p.39)

2.1.1.2.4 Cemento asfáltico

El segundo paso básico en el diseño de una mezcla asfáltica de acuerdo a Rondón y Reyes (2015) es la determinación del tipo de cemento asfáltico que se va a utilizar, además se debe tener en cuenta a la hora de escoger el ligante, el nivel de tránsito y la temperatura media anual promedio de la zona en donde se utilizará la mezcla.

“Estos materiales ligan el agregado pétreo para conformar mezclas asfálticas y son los responsables de brindar, a la capa asfáltica, resistencia mecánica bajo carga monotónica, estática y/o cíclica, impermeabilidad y durabilidad.” (Rondón y Reyes, 2015, p.1)

En Ecuador se utilizan cementos asfálticos de consistencia intermedia, 60-70 y 85-100 décimas de milímetro.

2.1.1.2.4.1 Comportamiento mecánico del Cemento Asfáltico

La naturaleza del asfalto es viscoelástica, esto quiere decir que su comportamiento depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. El asfalto a altas temperaturas tiene menor rigidez, típico durante la temperatura de mezcla (135°C). A medida que la temperatura descende el asfalto se vuelve más rígido. A temperaturas muy bajas el asfalto puede agrietarse porque se vuelve frágil y quebradizo, esto se muestra en la Figura 1. (Chimborazo, 2012, p.19)

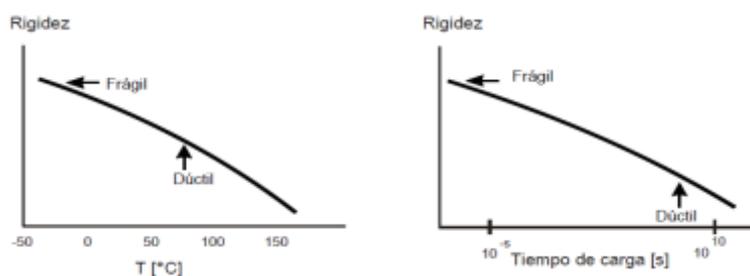


Figura 1. Comportamiento Mecánico del CA

Fuente: Chimborazo, W (2012)

Una teoría similar es compartida por Huamán y Chang (2016) quienes exponen que:

El asfalto es un material que tiene un comportamiento elástico-lineal a temperaturas bajas y frecuencias de carga altas, pero muestra propiedades viscoplásticas a temperaturas mayores, por ejemplo, cuando sobrepasan los 40°C. Debido a este comportamiento, las cargas repetidas del tránsito generan

deformación permanente en la capa asfáltica, especialmente cuando es sometida a altas temperaturas (...). En carpetas asfálticas, la deformación permanente ocurre debido al fujo viscoelástico o viscoplástico de la mezcla asfáltica. La capacidad de una mezcla de resistir este tipo de deformación depende de diversos factores, entre los cuales se puede considerar la consistencia del ligante asfáltico y la volumetría de la mezcla (agregados y ligantes). (p.26)

Por otra parte, tal como se ha mencionado anteriormente, el enlace árido-ligante tiene un papel fundamental en la mezcla asfáltica, puesto que de esta se obtienen muchas de sus propiedades, y evita además que ocurra la falla por humedad. López y Miró (2017) afirman que:

Por lo general, no se suele prestar mucha atención a la influencia del ligante, debido a que es ampliamente conocido que el betún es un material impermeable que apenas reacciona en presencia de agentes químicos externos; sin embargo, el agua se compone de oxígeno y otros compuestos que a largo plazo son capaces de provocar cambios en las propiedades tanto físicas como químicas del ligante, en especial, cuando la interconexión árido-ligante es muy delgada. (p.43)

El ligante debe cubrir totalmente a los agregados para que, al entrar en contacto con agua, esta no cause estos cambios en las propiedades de la mezcla.

Películas gruesas, que están asociadas con mezclas flexibles, son conocidas por ser durables. Por otro lado, las películas delgadas se asocian con mezclas frágiles que tienden a agrietarse y colapsar excesivamente, lo cual supone un acortamiento de la vida útil del pavimento. (López y Miró, 2017, p.44)

2.1.1.2.4.2 **Contenido de asfalto**

La selección del contenido óptimo del ligante dentro de la mezcla asfáltica es un paso importante dentro del diseño a través del método Marshall. El Asphalt Institute (2001) afirma que:

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. (p.64)

Chimborazo (2012) sugiere que

Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades

medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. (p.29)

Si todos los criterios se cumplen, se tendrá un diseño preliminar de la mezcla, en caso de que se no se cumplan será necesario realizar ajustes o rediseñar la mezcla.

2.1.1.3 Mezclas Asfálticas Modificadas

Actualmente las investigaciones acerca de la modificación de mezclas asfálticas han conseguido gran impacto, al respecto Villegas, Aguiar y Loria (2018) afirman que:

La modificación de asfaltos es una práctica cada vez más común, es de interés identificar si la modificación puede ser realizada mediante el uso de materiales que pueden presentar un impacto ambiental severo debido a razones como contaminación o dificultad de desecho. (p.8)

La experiencia de la modificación del asfalto con materiales de desecho es poca, con excepción de ciertos polímeros reciclados y comerciales. Estos últimos cuentan con estudios que dan soporte a mejoras específicas que se buscan en el asfalto. Por lo general, lo que se espera es un aumento en la resistencia a la deformación permanente, a la fatiga y/o al daño por humedad, además de reducir la susceptibilidad térmica. (p.8)

2.1.1.3.1 Material modificador

En todo proceso de modificación de asfaltos y mezclas asfálticas es de suma importancia el analizar el material a utilizar como modificador, máxime si este es un material de desecho. La pertinencia de analizar el material modificador radica en el control que se tiene del mismo en cuanto a composición química, homogeneidad, toxicidad, temperatura de degradación, temperatura de fusión o de otro tipo de transiciones. (Villegas, et al., 2018, p. 8)

Este análisis permite tener un mejor control al momento de diseñar y al realizar el proceso de modificación, puesto que se conoce acerca del material y de qué manera puede influir en las propiedades de la mezcla.

2.1.1.3.2 Tratamiento previo a la incorporación

Se reconoce a los criterios de sostenibilidad como un instrumento importante para mitigar los efectos que se evidencian por el cambio climático, los cuales deben ser incorporados en la industria para que además de obtenerse beneficios ambientales, se pueda beneficiar la economía, la sociedad actual y las futuras generaciones.

Los investigadores acogiendo estos criterios de sostenibilidad buscan, incorporar desechos sólidos que no tienen una buena disposición final, a las mezclas asfálticas y proponen reutilizar vidrio, plástico, plumas de pollo, caucho, diferentes formas del polietileno y polipropileno que usan las industrias.

Todos los materiales que utilizan en las diferentes investigaciones además de ser analizados para conocer sus propiedades también pasan por un proceso de tratamiento previo a su incorporación, ya sea como parte de los agregados o como parte del cemento asfáltico o ligante.

Ramos, Rivera, Salazar y Escobar (2019) en su investigación donde utilizan plumas de pollo como modificante del ligante plantean:

Las plumas de pollo se obtuvieron de un rastro local en Altamira, Tamaulipas. Se sometieron a lavado con agua y secaron al sol dos días. El raquis se separó de las barbas de la pluma. Se cortó el raquis en pequeños trozos que posteriormente fueron molidos en una pica lica T-fal en tiempos de 45s. Finalmente el polvo se tamizó en una malla tamaño 25 y con un tamaño de partícula de 707 micrones. (p.2)

Martinez, et al. (2018) utilizan granos de caucho como parte de los agregados de la mezcla asfáltica, los mismo que se obtenían de acuerdo a lo que indican “del desecho de reencauchadora de llantas de camiones quienes generaban un desecho en forma de ripio libre de acero y nylon.” (p.42)

En la actualidad existen trituradoras que pueden generar el grano de caucho, el mismo que de acuerdo a Martinez, et al. (2018) es “seleccionado de tamaño fino, con partículas inferiores al tamiz No. 30 (595 μm), ya que las partículas finas permiten una mejor interacción entre el caucho y el cemento asfáltico.” (p.42)

Por otro lado Setyarini y Tajudin (2019) describen otra forma de agregar residuos a la mezcla, esta vez como recubrimiento del agregado pétreo. Los residuos plásticos de polietileno de baja densidad son triturados e incorporados al agregado pétreo previamente calentado a 165° C, con este nivel de temperatura el residuo se derrite y recubre al agregado, luego se añade el ligante que lo vuelve a cubrir pero esta vez tendrá la protección de polietileno.

Rahman, et al. (2020a) proponen la modificación del ligante mediante la adición de fibras obtenidas de las colillas de cigarrillo, las que previamente son tratadas tal como lo indican:

Después de la recolección, las colillas de cigarrillo se almacenaron en una tina de plástico. Las colillas se secaron en el horno durante 24 h, y se eliminó el exceso de tabaco de la misma. Las colillas de cigarro secas se trituraron en fibra molida con un molinillo en condiciones selladas y controladas. Las colillas molidas fueron luego mezcladas con muestras de betún. (p.6)

Como se puede notar, estos autores enfatizan en la necesidad de dar un tratamiento previo a los desechos que puedan ser incorporados a la mezcla asfáltica ya sea como parte de los agregados o como parte del ligante, esto con el objetivo de lograr un

mejor enlace entre los componentes, también para eliminar impurezas, sustancias tóxicas y demás que puedan interferir en las propiedades que se desean alcanzar.

2.1.1.3.3 Método de incorporación del modificante

Tal como se ha mencionado se puede modificar la mezcla reemplazando parte de sus agregados con algún material o se puede modificar el ligante, en ambos casos la mezcla sufre una variación que busca mejor rendimiento. Sin embargo, Rondón y Reyes (2015) indican que modificar el ligante aumenta el costo y requiere una elevada temperatura de fabricación lo que significa que podrían necesitarse nuevos equipos, por otra parte, reemplazar parte de los agregados demanda mayor cantidad de ligante pero el costo del proceso es más económico. Ambas incorporaciones se conocen como proceso por vía húmeda y proceso por vía seca respectivamente.

“La capacidad del aditivo para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas depende del tipo de modificación (húmedo o seco), de la naturaleza, porcentaje y tamaño máximo de las partículas de aditivo y del tiempo y temperatura de mezclado.” (Rondón y Reyes, 2015, p. 104)

2.1.1.4 Colillas de cigarrillo

Un cigarrillo es un pequeño cilindro de hojas de tabaco finamente cortadas enrolladas en papel fino. Con una colilla con un volumen aproximado de 5.02 cm³ y un peso promedio de 0.25 g.

Los cigarrillos modernos fabricados comercialmente se componen de los siguientes elementos principales (Fig.2):

- Mezcla de tabaco seca y cortada en tiras finas de un milímetro de grosor.
- Papel enrollable para cubrir el tabaco y el adhesivo. Compuesto de celulosa (con posibles aditivos), este papel favorece la aparición de cenizas y garantiza una combustión uniforme. Está cerrado por una sustancia adhesiva.
- Un filtro compuesto por acetato de celulosa, que se describe con más detalle a continuación. Pintan el papel para cubrir el filtro. Esta es una emulsión de acetato de polivinilo que se usa para pegar el tapón de acetato de celulosa al papel de envoltura interno. (Marinello, Lolli, Gamberini y Rimini, 2020, p.4)

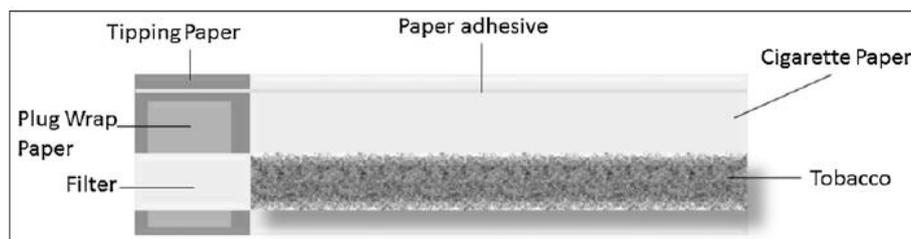


Figura 2. Estructura física de un cigarrillo

Fuente: Marinello et al (2020)

Pero luego de consumirse, este cigarrillo se convierte en una simple colilla compuesta únicamente por el filtro cubierto de papel y la gran cantidad de sustancias retenidas en el mismo. Este elemento es el que se considera como un desecho y al que no se le da una correcta disposición final.

Un filtro está diseñado para reducir la cantidad de humo, alquitrán y partículas finas inhaladas durante la combustión y para reducir la aspereza del humo y mantener los copos de tabaco fuera de la boca del fumador. El filtro captura y retiene sustancias tóxicas, pero cuando se ensucia, estos químicos pueden filtrarse del filtro del cigarrillo. (Marinello, et al., 2020, p.5)

2.1.1.4.1 Filtro de acetato de celulosa

De acuerdo a Mohajerani, Abdul Kadir y Larobina (2016) “casi el 90% de todos los cigarrillos se fabrican con puntas de filtro de acetato de celulosa, excepto Japón, Venezuela, Corea del Sur y Hungría” (p. 229)

La celulosa es un polímero natural de glucosa ($C_6H_7O_6$) que se deriva principalmente de pulpa de madera y linters de algodón. Cada unidad de glucosa consta de tres grupos hidroxilo (OH), que pueden unirse por hidrógeno a cadenas adyacentes; el resultado es un material resistente. Debido a las cadenas extendidas de celulosa, es casi imposible que los solventes penetren. La única forma de procesar la celulosa es bloquear los grupos OH (enlaces de hidrógeno) con grupos acetato. Por lo tanto, al esterificar celulosa natural con ácido acético, se produce acetato de celulosa. El acetato de celulosa es el componente principal en el filtro de una colilla de cigarro. (Kurmus y Mohajerani, 2020, p. 107)

2.1.1.4.2 Degradación de la colilla de cigarrillo

El alto grado de sustitución de acetato impide que la celulosa en la colilla de cigarrillo cubierta acceda a los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) en el medio ambiente para la descomposición. La radiación ultravioleta (UV) también promueve la degradación del acetato de celulosa, sin embargo, el papel de volcado restante en la colilla inhibe la radiación solar UV que llega a las fibras de acetato de celulosa. Finalmente, el papel se biodegrada y aumenta la exposición de la radiación UV al acetato de celulosa. Sin embargo, la composición del acetato de celulosa restringe la exposición de la luz solar a la superficie de las fibras. Además, los microorganismos del medio ambiente no aceptan el acetato de celulosa como fuente de alimento. Por lo tanto, la desacetilación se realiza por hidrólisis, sin embargo, la hidrólisis del acetato de celulosa es un curso lento en condiciones ambientales. Por lo tanto, en condiciones anaeróbicas, puede tomar hasta 1–2 meses en el suelo, 6–9 meses en agua dulce y 12 meses o más en malas condiciones para que las colillas se degraden. (Kurmus y Mohajerani, 2020, p. 107)

Bonanomi et al. (2015) ha demostrado este lento proceso de degradación a través de un experimento de 2 años en un sustrato orgánico en descomposición estándar. El estudio muestra cómo las colillas perdieron solo el 37.8% de su masa inicial después de dos años de descomposición.

Comparando la descomposición del filtro de cigarrillos de celulosa y plástico, Joly y Coulis (2018) estimaron que los filtros de plástico convencionales tardan entre 7 y 14 años en desaparecer en el compost y en la superficie del suelo, respectivamente. Por el contrario, estimaron que los filtros de celulosa tardan entre 2,3 y 13 años en desaparecer, en el compost y en la superficie del suelo, respectivamente.

Lo que demuestra que el problema de las colillas de cigarrillo perdura por mucho más tiempo del que podríamos imaginar, sin embargo además del acetato de celulosa otro problema en esta misma colilla son la cantidad de sustancias tóxicas que pueda contener.

2.1.1.4.3 Toxicidad de las colillas de cigarrillo

Cuando se fuma un cigarrillo, se convierte en partículas y fases volátiles. La fase de partículas consta de productos químicos no volátiles y semivolátiles, y la fase de vapor consta de productos químicos volátiles. La fase de vapor es la porción del humo que pasa a través del filtro, y el 95% de su peso está compuesto por 400–500 compuestos gaseosos individuales que incluyen nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua, argón, hidrógeno, acetona, óxidos de nitrógeno y compuestos volátiles de azufre. La fase de partículas es la porción del humo que queda atrapada en el filtro y está compuesta por el resto del peso del humo con más de 3500 componentes individuales; Estos incluyen nicotina, alcaloides de nicotiana, compuestos específicos para solanáceas, catecoles, hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Kurmus y Mohajerani, 2020, p. 108)

Granda y García (2019) afirman que el alto grado de toxicidad de los elementos que componen los cigarrillos se evidencian sobre todo en la emisión de humo, estos conocidos también como elementos de tierras raras, son metales pesados tóxicos para los organismos vivos, pero de acuerdo a los estudios donde existe mayor concentración de estos metales pesados es en el papel con el que fabrican los cigarrillos manufacturados y envuelven al filtro.

Todos estos elementos tóxicos que se encuentran en las colillas no solo se quedan ahí, sino que al entrar en contacto con el agua o el suelo son liberados pasando a formar parte del ecosistema y a dañar los organismos vivos.

Dobaradaran, et al., (2019) en su investigación compara los niveles de HAP emitidos por colillas de cigarrillo recién quemadas con los de colillas recolectadas en lugares públicos y lugares cercanos a cuerpos de agua. Plantea inicialmente determinar la composición química de las colillas de cigarrillo, para luego poder medir su emisión

al medio ambiente, ya que puede contener diversas sustancias que pueden no pertenecer a la colilla sino al ambiente al que ha sido expuesta o donde ha sido desechada. Luego de esta identificación se lleva a cabo la recolección de las muestras y el respectivo proceso para separar las sustancias y saber la cantidad de HAPs que contiene cada muestra. Con este proceso se logra comparar los niveles de sustancias contaminantes que se liberan al ambiente en parques, plazas, calles, playas, etc. pudiendo notar que en los lugares cercanos a un cuerpo de agua, dichas sustancias se encuentran en menor concentración debido a que ya han ingresado al entorno en muchos casos gracias al tiempo de exposición, la solubilidad de la sustancia o el peso molecular.

Con este análisis se pueden observar la cantidad de sustancias que pueden contener las colillas de cigarrillo y de las que debe tenerse especial cuidado al tratar de incorporarlas como parte de algún nuevo material.

2.1.1.4.4 Valorización de las colillas

Si bien es cierto que las colillas pueden parecer tan nocivas, las investigaciones llevadas a cabo en los últimos tiempos han permitido incorporar este desecho como parte de nuevos materiales y otorgarle un valor económico que puede reducir otros costos, además de ser una solución sustentable para minimizar las toneladas de basura que se generan a diario en el mundo.

Marinello, et. Al, (2020) en su estudio donde realiza una recopilación de los posibles usos que se le puede dar a las colillas de cigarrillo, establece la siguiente distribución gráfica:

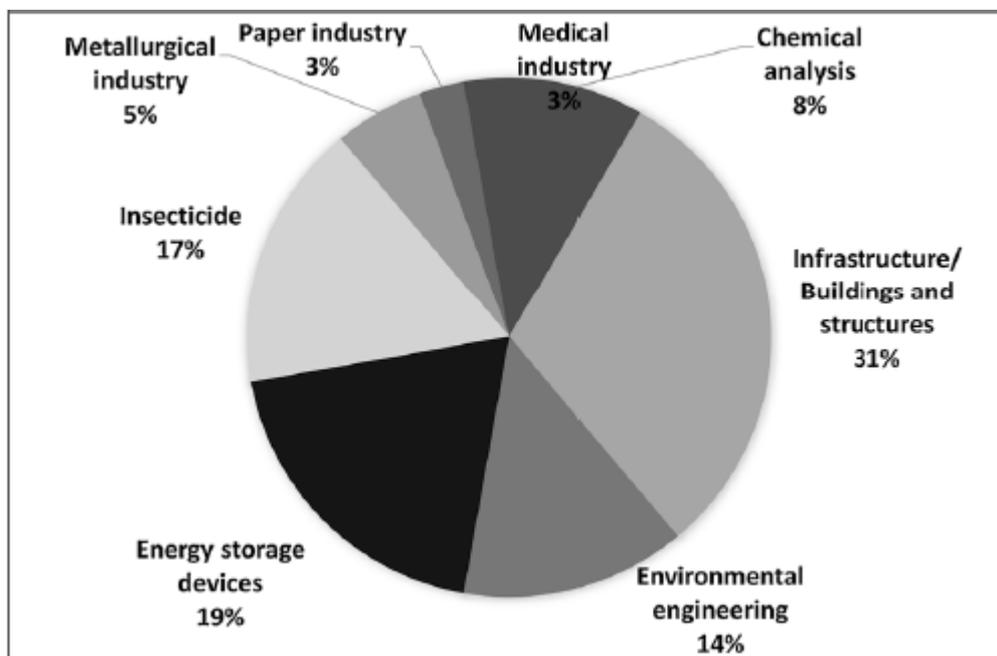


Figura 3. Distribución Porcentual de los posibles usos de colillas en diferentes industrias

Fuente: Marinello et al (2020)

En este gráfico se puede evidenciar que existen ocho industrias en donde se puede dar cabida a la reutilización de colillas tales como: análisis químico, infraestructura / edificios y estructuras, dispositivos de almacenamiento de energía, Ingeniería ambiental, industrias químicas y médicas, insecticidas, industria metalúrgica, industria del papel. (p.13)

Además a partir de esto, Marinello, et. Al, (2020) concluye que “el uso de subproductos resultantes de procesos de tratamiento de colillas de cigarrillo en la industria de la construcción y la infraestructura tiene el mayor apoyo entre los autores analizados, con 31% de los estudios que describen este posible uso.” (p. 14)

Como ejemplo de los estudios que incorporan colillas de cigarrillo en la industria de la construcción se pueden mencionar a Kurmus y Mohajerani (2020), en su estudio realizan la comparación de las características de ladrillos de arcilla cocida con colillas de cigarrillo frente a las de los tradicionales para así evaluar sus comportamientos y verificar el cumplimiento de los parámetros que establecen las normas.

Dando como resultado que los ladrillos de arcilla con inclusión de colillas de cigarrillo cumplen con los parámetros mínimos de las normas, no superan a los valores obtenidos de un ladrillo de arcilla convencional pero a pesar de eso se puede usar las colillas de cigarrillo en un ladrillo porque satisfacen a los valores normados y esto presenta una solución de reciclaje sostenible.

Otro ejemplo es el de Cui, Wu, Li , & Yang (2018) quienes en su estudio experimental determinan la cantidad óptima de colillas de cigarrillo que se puede mezclar con el cemento asfáltico para conservar o mejorar las propiedades de la mezcla, agregan diferentes porcentajes de colillas previamente tratadas y cortadas; y muestran los diferentes comportamientos que va sufriendo la mezcla a través de pruebas de laboratorio.

De esta manera se evidencia que pueden darse diferentes usos a este desecho, buscando perfeccionar las técnicas para así obtener cada vez mejores resultados.

2.1.1.5 Diseño de mezcla asfáltica modificada

Además de la información expuesta en los párrafos anteriores acerca de aspectos importantes para el diseño de la mezcla tales como los agregados, el ligante asfáltico, y la preparación del modificante, esta debe realizarse mediante ensayos de laboratorio que permitan dosificar las cantidades adecuadas que proporcionen a la mezcla las propiedades requeridas por el proyecto además de permitir su evaluación para que cumplan con los valores especificados en las normativas aplicables de acuerdo al material.

El ensayo tradicionalmente utilizado para diseño de mezclas asfálticas en caliente es el método Marshall, además Reyes (2008) afirma que “el ensayo Marshall es el más utilizado para investigar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas.” (p.12)

La dosificación del modificante es la variable que va a cambiar y la que deberá determinarse para que la mezcla cumpla con los requisitos, el porcentaje que se agregue influirá en las propiedades Ali, et.al (2017) en su estudio acerca de la

inclusión de desechos plásticos en mezclas asfálticas determinaron que “El rango de 10% a 12% de residuos de plástico en asfalto fue el contenido óptimo.” (p.18)

Mohajerani, et.al, (2016) en su investigación de ladrillos de arcillas con colillas de cigarro propone “la inclusión de 1% de contenido de colillas de cigarrillo en ladrillos de arcilla cocida”(p. 241), con este porcentaje las propiedades del ladrillo están muy cerca de las de uno estándar.

Rahman, et.al, (2020a) utilizan las colillas de cigarro trituradas como modificador de fibra en el betún, agregando un porcentaje entre el 0.2 y 0.3% de fibra de celulosa obtenida de las colillas al betún tienen un punto de ablandamiento muy cercano a las muestras de control que no contienen este modificante.

Estos porcentajes como se puede notar varían, y pueden ser más altos o más bajos, dependiendo del material modificador o el material a obtenerse. Sin embargo, la pauta para su determinación la indican las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para evaluar y ajustar la mezcla de diseño.

2.1.1.6 Comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con desechos

Luego de incorporar algún tipo de desecho como modificador a la mezcla asfáltica y realizar las respectivas pruebas para evaluar su comportamiento, algunos autores han obtenidos resultados positivos, logrando mejoras en las propiedades de la mezcla.

Cui, et.al, (2018) luego de incorporar colillas de cigarrillo al ligante asfáltico logra mejorar la resistencia, la anti-deformación y la resistencia a altas temperaturas del pavimento.

Abu Abdo (2017) realiza un análisis utilizando el software 3D Move Analysis, de muestras de asfaltos con residuos de botellas plásticas trituradas, determinando que:

Agregar residuos plásticos al asfalto de mezcla caliente en porcentajes bajos aumentó su rigidez medida por la prueba de Módulo elástico dinámico $|E^*|$. Las curvas maestras desarrolladas a partir de los datos de la prueba mostraron que las mezclas de asfalto con 0.2% y 0.5% de desechos plásticos fueron similares a las curvas maestras de las mezclas de control. Sin embargo, las curvas maestras para mezclas con 1.0% de residuos plásticos se desplazaron hacia abajo (menor rigidez). (p. 4355)

Martinez, et.al, (2018) en su investigación de inclusión de granos de caucho en mezclas asfálticas, concluyen que la adición de este desecho mejora el desempeño del asfalto en cuanto a la fatiga, asfaltos con mayor viscosidad, mejoras en la rigidez y a la deformación permanente.

Reyes (2008) afirma que los principales aspectos analizados y comparados entre las mezclas asfálticas modificadas y las tradicionales son:

- Deformación permanente (Ahuellamiento).
- Desgaste (Cántabro).

- Resistencia (Estabilidad Marshall).
- Envejecimiento.
- Comportamiento térmico.
- Fatiga.
- Adherencia.
- Costos de la mezcla convencional vs. la modificada (economía).
- Beneficios ambientales.
- La influencia de adicionar nuevos materiales al asfalto. (p.11)

Sin embargo la mayor parte de los investigadores se centran en analizar las propiedades mejoradas, tal como se ha expuesto en líneas anteriores, y los beneficios ambientales obtenidos al incorporar desechos.

2.1.1.7 **Beneficios de utilizar desechos como modificante**

Mohajerani (2016) en cuanto a beneficios ambientales afirma que:

Incorporar tan poco como 1% de contenido de colillas de cigarrillo en ladrillos puede ser beneficioso para el medio ambiente. Solo el 2.5% de la producción anual mundial de ladrillos es necesaria para compensar por completo la producción anual mundial de cigarrillos. (p.242)

Así mismo realiza un análisis comparativo entre las propiedades de un ladrillo tradicional y uno con incorporación de la colilla, mostrando los beneficios técnicos adquiridos.

Martinez, et.al, (2018) expone que

Desde el punto de vista social, se ha abierto un nuevo sector de producción y de generación de empleo, por ejemplo: la cadena de recolección de llantas y la creación de la industria de la trituración de llantas que hace algunos años eran inexistentes en Colombia. (p. 50)

Rahman, Mohajerani y Giustozzi (2020b) con respecto a los beneficios manifiestan que:

El reciclaje de productos de desecho para su uso en materiales de construcción alternativos puede no solo ser una respuesta viable para el problema del uso de vertederos en el mundo, sino que también ofrece la posibilidad de fortalecer el diseño de mezcla de asfalto. Aunque el uso de estos materiales puede aumentar inicialmente el precio de producción, es razonable concluir que el costo de reciclar materiales se reducirá y será apropiado una vez que se haya convertido en una práctica común en la industria.

La utilización de varios tipos de desechos en el asfalto y el asfalto puede garantizar la sostenibilidad y establecer procedimientos innovadores de reciclaje. Este concepto revolucionario puede ayudar a salvar el medio ambiente de la contaminación y ayudar a gestionar los desechos. (p. 16)

2.1.1.8 Referencias de tesis internacionales y nacionales.

2.1.1.8.1 Referencias de Tesis Nacionales

Según Marcillo, Valeria (2018) autora ecuatoriana de la tesis titulada “Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden”, quien expresa que, adicionando plástico reciclado a la mezcla, esta duplica la estabilidad de la muestra de asfalto convencional, soportando tráfico pesado y cumpliendo con la normativa.

Realiza la adición por las dos vías es decir húmeda y seca, pero la mejor forma de adicionar el modificante es por vía seca, puesto que por vía húmeda la muestra se plastifica cuando se lleva a cabo el proceso de mezclado. La mezcla óptima se compone de 25% Cisco+30% Arena+20% Piedra 3/4+25% Piedra 1/2, 6.10% de asfalto y 3% de plástico.

De la misma manera Capa, Karla (2017) autora ecuatoriana de la tesis titulada “Análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica abierta con la adición de fibras de acero” adicionó 1% de fibra de acero a la mezcla presentando mejoras en la estabilidad y el flujo, agregando cantidades mayores a este porcentaje la estabilidad disminuye y el flujo aumenta, recomienda además controlar la temperatura especificada durante el calentamiento de los agregados y mezcla de los mismos para su compactación.

Por otra parte, Freire, Karlenn (2018) autora ecuatoriana de la tesis titulada “Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación” determina un 12% como porcentaje óptimo de adición de vidrio molido para que la mezcla cumpla con estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, ya que al aumentar la cantidad de modificante en la mezcla se ven comprometidas estas propiedades y vuelve a la mezcla rígida lo que va a provocar fisuras.

Además, afirma que no se debe calentar la mezcla a más de 160° y más de una vez puesto que esto haría que la mezcla se envejecza y varíe sus propiedades. El vidrio al ser un material que no absorbe el asfalto necesita un análisis detallado de la cantidad del ligante que debe utilizarse y que sea consecuente con la cantidad del modificante, así mismo recomienda que la cantidad de finos que pasa el tamiz N.50 hasta el 200 se reduzca y se reemplace por el vidrio molido para no comprometer la relación de vacíos de la mezcla.

2.1.1.8.2 Referencias de Tesis Internacionales

Según Olarte, Brandon y Soler, Rubén (2018) autores colombianos de la tesis titulada “Efecto del grano de caucho en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica tipo MD-12” en Colombia se producen 190.500 ton de residuos de llantas de los cuales solo el 10% son reutilizadas, el resto termina como desecho que contamina el ambiente.

Una solución a esto es la inclusión de este desecho en la mezcla asfáltica a través del grano de caucho reciclado que se obtiene de todas esas llantas sin reutilizar, en su investigación estos autores determinan que la adición de 0.5% de caucho en forma de granos a la mezcla disminuye en un 5.3% el ahuellamiento con respecto a la mezcla convencional, sin embargo, si este porcentaje aumenta, el ahuellamiento aumenta significativamente.

Según Matta, Jefferson y Perez, Jose (2019) autores peruanos de la tesis titulada “Propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente al adicionarle cenizas de algas marinas, Chimbote- Ancash-2019” adicionar esta modificante mejora la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos añadiendo un 5% de cemento asfáltico y un 10% de cenizas de algas marinas.

Llevaron a cabo el ensayo de Marshall para el diseño de mezcla, así mismo un tratamiento previo de las algas marinas y los ensayos respectivos a los agregados de la mezcla.

Por otra parte, Landinez, Alcides, Restrepo, Gustavo y Lázaro, Jerson (2017) autores colombianos de la tesis titulada “Análisis físico-mecánico de mezclas densas en caliente MDC-19 con adición de tiras de geotextil de 1 cm” adicionan geotextil tejido y no tejido sin embargo los objetivos que se plantearon no fueron alcanzados.

La mezcla con mejores resultados puede ser utilizada en tratamientos superficiales, ya que no cumple con las especificaciones para ser utilizado como capa estructural, ya que es porosa por el aumento en el porcentaje de vacíos de la mezcla, sin embargo, en mezclas con 0.25% de geotextil no tejido presenta mayor resistencia a la tensión y una estabilidad similar a la de una mezcla convencional.

2.1.1.9 Proyectos Análogos.

2.1.1.9.1 Proyectos análogos nacionales

Pichincha es la primera provincia del Ecuador donde se colocó mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas y el Ministerio del Ambiente y Agua (2015) llevaron a cabo la implementación de 600 metros de mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado en un tramo de la vía Pifo-Papallacta, dicha mezcla fue sometida a pruebas las cuales arrojaron resultados satisfactorios.

En este proyecto piloto, se tuvo asesoría de técnicos nacionales y de especialistas del Instituto Tecnológico de Monterrey quienes hicieron observaciones puntuales en cuanto a las técnicas de mezclado. Este proyecto supone un gran avance para Ecuador en temas de desarrollo sustentable, de aprovechamiento y reciclaje de residuos sólidos.



Figura 4. Colocación de mezcla asfáltica modificada en la vía Pifo-Papallacta

Fuente: Diario El Comercio (2018)

2.1.1.9.2 Proyectos análogos internacionales

Implementación de mezcla asfáltica modificada con granulo de caucho en el barrio San Carlos de la localidad de Tunjuelito

Correa, Camilo (2018) autor del estudio de la implementación de mezclas asfálticas modificadas con caucho en San Carlos ubicado en Bogotá, Colombia establece que este sector soporta un alto tráfico y requiere mejorar la condición estructural, por tanto la implementación de este tipos de mezcla modificada que se ha comprobado tiene mejores propiedades que las de una convencional en cuanto al aspecto mecánico, solución de problemas de agrietamiento, ahuellamiento y resistencia a la fatiga, además del aumento de la vida útil.

La incorporación de este desecho sólido puede darse vía húmeda y vía seca, sin embargo, el autor recomienda para este tipo de modificación la utilización de la vía húmeda, ya que tiene un mejor comportamiento frente a la mezcla modificada por vía seca respecto a la flexibilidad.

2.1.2 Marco Conceptual

2.1.2.1 Definiciones Generales

2.1.2.1.1 Hormigón asfáltico

También se lo conoce como asfalto o asfalto denso nivelado, se usa comúnmente en la construcción de carreteras y pavimentos. Consiste en hasta 96% de agregados gruesos y finos, siendo el resto relleno y un aglutinante de betún. (Mohajerani et al., 2017)

2.1.2.1.2 **Durabilidad**

Es una medida en que el asfalto puede mantener las propiedades originales cuando se expone a procesos normales de envejecimiento y degradación. (Marcillo, 2018)

2.1.2.1.3 **Estabilidad**

La estabilidad del asfalto es la capacidad de soportar el desplazamiento y la deformación en las cargas de tráfico. La forma estable del pavimento y la suavidad se pueden mantener bajo cargas repetidas. Los caminos pavimentados inestables tienen otros signos que indican un cambio en la forma de estructuras rugosas onduladas y mixtas. (Marcillo, 2018)

2.1.2.1.4 **Flexibilidad**

Esta es la capacidad del pavimento de asfalto para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base sin sufrir ninguna grieta. (Marcillo, 2018)

2.1.2.1.5 **Resistencia a la fatiga.**

Esta es la capacidad del pavimento de resistir los esfuerzos asociados con el tránsito en pases repetidos. (Marcillo, 2018)

2.1.2.1.6 **Trabajabilidad**

Es la propiedad que hace a la mezcla fácil de manejarla, colocarla y darle acabado. (Marcillo, 2018)

2.1.2.1.7 **Ahuellamiento**

El fenómeno de ahuellamiento es uno de los principales mecanismos de daño de capas asfálticas en estructuras de pavimentos flexibles y semirrígidos. Este puede ser definido como la deformación vertical permanente que se va acumulando en el pavimento debido al paso repetitivo de los vehículos, el cual genera delgadas depresiones longitudinales a lo largo de la trayectoria de las llantas. (Rondón y Reyes, 2015)

2.1.2.1.8 **Adhesividad**

La adhesividad se define como la capacidad de un ligante para permanecer fijado a un árido, recubriéndolo sin peligro de desplazamiento, aún en presencia de agua, siendo la adhesión la fuerza por unidad de superficie que une las moléculas del ligante a las del árido. (López y Miró, 2017)

2.1.2.1.9 **Agregados Pétreos**

La denominación técnica “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular.

En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquellas

con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua. (Rondón y Reyes, 2015)

2.1.2.1.10 **Asfalto**

El asfalto es un material aglomerante de color negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes son betunes que se encuentran en la naturaleza o son obtenidas por destilación del petróleo.

Es un cementante que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente. (Asphalt Institute, 2001)

2.1.2.1.11 **Cemento asfáltico**

Asfalto con o sin fluidificantes, de consistencia y calidad apropiada para uso directo en la fabricación de pavimentos flexibles. (MTO, 2002)

2.1.2.1.12 **Toxicidad**

Cuando las colillas de cigarrillo son arrojadas al medio ambiente, cantidades significativas de tóxicos químicos se lixivian y se acumulan potencialmente en los canales de agua, calles, franjas naturales y senderos, lo que plantea una seria amenaza para organismos locales y especies acuáticas. (Kurmus y Mohajerani, 2020) Es decir que la toxicidad es la capacidad que tienen las colillas de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo al entrar en contacto con él.

2.1.3 **Marco Legal**

Para realizar el proyecto de investigación se consideraron las siguientes leyes, normativas y reglamentos vigentes:

2.1.3.1 **CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct-2008**

- **Art. 3.-** Son deberes primordiales del Estado:
 5. Planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir.
- **Art. 259.-** Con la finalidad de precautelar la biodiversidad del ecosistema amazónico, el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas de desarrollo sustentable que, adicionalmente, compensen las inequidades de su desarrollo y consoliden la soberanía.

- **Art. 385.-** El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

2.1.3.2 **Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021**

Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida

- Objetivo 1: Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.
- Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

2.1.3.3 **Ministerio de Transporte y Obras Públicas Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos Y Puentes**

- MOP – 001 – F – 2002, sub adyacente 405 – 1 Y 405 – 5

2.1.3.4 **Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)**

- ASTM D3381 Cemento de asfalto graduado de viscosidad para uso en la construcción de pavimentos
- ASTM D4867 Método de prueba para el efecto de la humedad de concreto asfáltico de pavimento
- ASTM D4123 Modulo resiliente diametral para asfálticas
- ASTM D4123-82 Método de ensayo estándar para prueba de tensión indirecta para módulo resiliente de mezclas bituminosas.
- ASTM D979 Práctica estándar para el muestreo de mezclas bituminosas de pavimentación

2.1.3.5 **Normas Técnicas Ecuatorianas**

- INEN NTE 2515: Producto derivado del petróleo - cemento asfáltico
- INEN NTE 2061 Productos derivados del petróleo. Asfaltos diluidos.

3 CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Metodología

La metodología de investigación de acuerdo con Hernandez, Fernandez, & Baptista, (2014) corresponde a los diferentes pasos o etapas que se realizan para llevar a cabo la investigación. Por tanto en este capítulo se describirá dichos pasos o etapas necesarios para efectuar la investigación.

Inicialmente se realizará la recolección de las colillas de cigarrillo y del material pétreo en la cantera de la empresa LICOSA S.A., para llevarlos al laboratorio CONSTRULADESA S.A. donde se analizará y llevarán a cabo los ensayos necesarios para diseñar una mezcla de asfalto tradicional, una vez obtenido ese diseño se procederá a analizar la cantidad de colillas de cigarrillo que se le añadirán a la mezcla tipo.

Definida la cantidad de colillas se procederá a modificar la mezcla con tres diferentes porcentajes, se ensayará cada uno para poder analizarlos y luego comparar con lo obtenido en los ensayos realizados a la mezcla tradicional.



Figura 5. Diagrama metodológico

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, Hernandez, et al (2014) establecen que “esta investigación se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen.” (p.122). De acuerdo con esto, la presente investigación analizará la forma en que las colillas de cigarrillo afectan a una mezcla asfáltica y que efectos causan en las propiedades físico-mecánicas de la mezcla.

3.1.3 Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo, Hernandez, et al (2014) afirma que este enfoque nos otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista de conteo y las magnitudes de éstos. Asimismo, nos brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares. (p.16).

Al mencionarse la palabra cuantitativo se debe entender que van a cuantificarse esos efectos que causa la adición de colillas como se mencionaba en párrafos anteriores, el objetivo además de cuantificarlos es poder compararlos con estudios de las mismas características, además este enfoque nos permite manipular las variables y medirlas para concentrarnos en puntos específicos como mencionan los autores.

Es decir, se realizarán ensayos de laboratorio que permitirán medir los efectos de adicionar colillas de cigarrillo a la mezcla asfáltica y compararlos con las propiedades ya conocidas de una mezcla tradicional.

3.1.4 Alcance

En cuanto al alcance de la investigación es exploratorio, ya que se investiga desde una perspectiva innovadora, debido a que la incorporación de colillas de cigarrillo a una mezcla asfáltica es una acción poco practicada, también se pueden identificar conceptos promisorios y preparar el área para nuevos estudios. La presente investigación podría arrojar resultados positivos y prometedores para el ambiente, nuevas técnicas constructivas y nuevos materiales ecológicos que con nuevas investigaciones podría desarrollarse, aplicarse y obtener mejoras en el ámbito de la construcción sustentable.

3.1.5 Técnica e instrumentos de investigación

En el caso de las investigaciones de enfoque cuantitativo Hernandez, et al (2014) afirma que los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y ajustan.

3.1.6 **Técnica**

En esta investigación se aplicará la técnica de la medición, donde se reconocerá los efectos que causa la adición de las colillas de cigarrillo en la mezcla asfáltica, mediante pruebas de laboratorio para medir estos efectos y registrarlos, luego de ello poder analizarlos y compararlos.

- Análisis Granulométrico
- Ensayo de gravedad específica
- Ensayo de porcentaje de absorción de asfalto
- Ensayo de densidad RICE
- Marshall de asfalto
- Ensayo de extracción de asfalto

3.1.7 **Instrumentos**

Los instrumentos utilizados para llevar a cabo la investigación son:

- Máquina de estabilidad Marshall
- Formatos de registro de datos de campo proporcionados por el laboratorio Construladesa.
- Formatos de registro de resultados proporcionados por el laboratorio Construladesa.
- Equipos utilizados en el laboratorio Construladesa para llevar a cabo los ensayos mencionado en la sección 3.4.1
- Cámara Fotográfica

3.1.8 **Población**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es: “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones”, además indican que la “...población un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación...”

De acuerdo a esto, para la investigación la población será la mezcla de hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo.

3.1.9 **Muestra**

En el libro Metodología de la investigación por los autores Hernández, Fernández y Baptista mencionan que la muestra se relaciona con la población, es decir, es un subconjunto de piezas que pertenecen a ese conjunto definido en su composición al que le llamamos población.

La muestra es probabilística, donde los investigadores realizamos tres dosificaciones y se realizó la toma de tres briquetas por cada dosificación como lo indica la norma ASTM D979, dando un total de 9 muestras, que fueron compactadas, puestas en baño maría y luego ensayadas en la prensa Marshall.

3.1.10 Descripción del experimento

Las pruebas de la presente investigación se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio CONSTRULADESA S.A., pues cuentan con los equipos e instrumentos además de la experiencia para llevar a cabo el experimento propuesto.

3.1.10.1 Materiales a utilizar en la mezcla asfáltica

3.1.10.1.1 Recolección de agregados finos y gruesos

Los materiales que se van a utilizar es decir la piedra 3/4, cisco, y arena fueron proporcionados por la planta de producción de materiales de la empresa LICOSA S.A, ubicada en el km 26 de la Vía Daule-Guayaquil, los cuales fueron retirados directamente en la planta y trasladados al laboratorio donde se llevaran a cabo las pruebas.



Figura 6. Planta de materiales LICOSA S.A.

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Es importante mencionar que la arena es traída del río Chimbo, y se almacena en la planta desde donde se distribuye a las diferentes obras o se utiliza para la preparación de mezclas asfálticas o de hormigón.



Figura 7. Arena de Río Chimbo

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.2 **Cemento asfáltico**

El cemento asfáltico fue proporcionado de igual manera por la empresa LICOSA S.A. es de tipo AP3 es decir de penetración 85-100.



Figura 8. Cemento asfáltico caliente

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.3 **Recolección de colillas de cigarrillo**

La recolección de colillas de cigarrillo se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se identificó zonas donde se visualizó alta generación de este desecho como bares, discotecas, restaurantes, calles, avenidas etc.
- Se procedió a la recolección manual del desecho utilizando todas las medidas de bioseguridad para protegernos de cualquier agente infeccioso que pudieran tener las colillas.
- Solicitamos al personal que se encuentran en este tipo de centros donde se consumen cigarrillos, solicitar a los fumadores que se deposite la colilla en un recipiente rotulado, sin embargo, por las medidas impuestas por el Gobierno debido a la pandemia estos centros fueron temporalmente cerrados.

Los lugares específicos donde se recolectó el desecho fueron:

- Av. Víctor Emilio Estrada, Urdesa, desde la calle Bálsamos hasta calle Laureles.
- Av. 9 de octubre, desde la Av. Simón Bolívar hasta la calle Lorenzo de Garaycoa.
- Urb. Renacer, Av. José Rodríguez Bonín
- Calle Portete de Tarqui, desde la calle Eloy Alfaro hasta Av. 40.

3.1.10.4 **Materiales, equipos e instrumentos para ensayos**

3.1.10.4.1 **Equipos**

Los equipos utilizados en los ensayos de laboratorio realizados son los siguientes:

- Balanza Digital



Figura 9. Balanza utilizada para pesar muestras

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Balanza Mecánica



Figura 10. Balanza utilizada para pesar las briquetas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Centrifuga



Figura 11. Centrifuga utilizada para extracción de asfalto

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Cocina
- Extractor vertical para Marshall



Figura 12. Extractor de briquetas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Horno



Figura 13. Horno empleado para secado de materiales

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Horno baño María



Figura 14. Baño maría para briquetas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Picnómetro de vacíos



Figura 15. Extracción de vacíos

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Prensa Marshall



Figura 16. Máquina de estabilidad Marshall marca Humbolt

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.4.2 Instrumentos

También fueron necesarios los siguientes instrumentos para llevar a cabo los ensayos de laboratorio:

- Balde
- Bandeja galvanizada
- Bandejas plásticas
- Brocha
- Canastilla metálica
- Cucharón
- Dial de flujo



Figura 17. Dial de flujo utilizado en ensayo Marshall

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Espátula
- Martillo de compactación Marshall



Figura 18. Martillo para compactar la mezcla en el molde

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Molde Cónico y Pisón Humbolt
- Molde de compactación Marshall
- Molde de estabilidad Marshall



Figura 19. Molde para colocar las briquetas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Probeta 500 ml

- Tamices
- Tapa y fondo para tamices
- Tenaza
- Termómetro

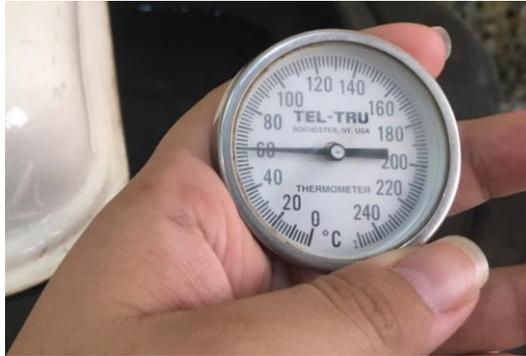


Figura 20. Termómetro para control de temperatura

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.4.3 Materiales

Los materiales utilizados son:

- Gasolina
- Filtro para centrífuga



Figura 21. Papel filtro

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Papel para hornear

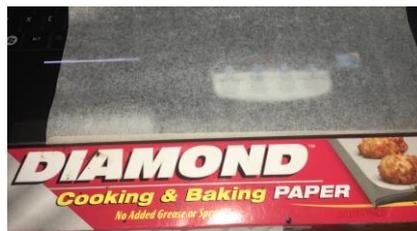


Figura 22. Papel encerado para hornear

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.5 Diseño de mezcla asfáltica tradicional

El diseño de la mezcla asfáltica se inició con el análisis granulométrico de los materiales pétreos y arena recolectados de la cantera, los mismos que fueron separados y puestos a secar por 24 horas al aire libre sobre una superficie plana.



Figura 23. Secado de material al ambiente

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.5.1 Ensayo de graduación de materiales

Para llevar a cabo este ensayo se siguieron los siguientes pasos:

- Se unen los tamices formando una columna con las medidas en orden descendente (3/4", 1/2", 3/8", No.4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, fondo)



Figura 24. Tamices a utilizar en el ensayo

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Las muestras de cada material se colocan en un recipiente por separado.



Figura 25. Muestra de cisco, arena y piedra

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Se toma la muestra y se coloca en el tamiz superior y se tapa.
- La columna de tamices se somete a movimientos oscilatorios para que el material pase o se retenga en los mismos de acuerdo a su tamaño.
- Luego se retira uno a uno los tamices y se pesa el material retenido en cada uno y se registran los pesos.



Figura 26. Peso del material retenido en el tamiz 200

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Se realiza el mismo proceso para las tres muestras, arena, cisco y piedra y se registra en el formato de campo proporcionado por el laboratorio

Para el caso del cisco debido a que es un material muy fino se realiza adicionalmente tamizado por lavado para determinar lo que retiene el tamiz 200:

- Pesar la muestra, restar el peso del recipiente que la contiene y registrar.



Figura 27. Muestra de cisco pesada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocar el cisco en una bandeja, llenarlo de agua y lavarlo varias veces hasta que el agua esté lo más limpia posible.



Figura 28. Primer lavado de muestra de cisco

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocar el material lavado en una tara y poner en el horno a 105°C por 24 horas para que se seque.
- Luego de ese tiempo, sacar del horno y proceder a realizar nuevamente la granulometría descrita anteriormente para determinar lo retenido en el tamiz No. 200.



Figura 29. Muestra antes y después del lavado

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.5.2 Ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción

El ensayo de gravedad específica se realizó fraccionando el material en gruesos y finos, debido a que lo retenido en el tamiz No.4 supera el 15% de la muestra total según lo obtenido en el ensayo de análisis granulométrico, esto de acuerdo a la norma respectiva.

Inicialmente los tres materiales son colocados en un recipiente, se los satura de agua y se deja por 24 horas.



Figura 30. Material saturad con agua para realizar ensayo de Gravedad Específica

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.5.2.1 Material grueso

Para el material grueso se realizó lo siguiente:

- Se sumerge una canastilla en un balde con agua, la misma que se encuentra colgada de una balanza mecánica, para así poder determinar su peso sumergida en el agua.



Figura 31. Pesando la canastilla sumergida en agua

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Tomamos 1000 gr de muestra de material grueso (piedra $\frac{3}{4}$) saturado en agua y lo colocamos sobre un paño absorbente para quitar el exceso de agua de la superficie.
- Colocamos la muestra en la canastilla, sumergimos la canastilla con la muestra y pesamos.
- Sacamos la canastilla y el material lo colocamos en una tara para luego meterla en el horno por 24 horas a 105° C para que se seque.



Figura 32. Tara con muestra en el horno

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Repetimos el proceso para la muestra de cisco.

3.1.10.5.2.2 **Material fino**

En el caso del material fino se siguieron los pasos descritos a continuación:

- Secar al ambiente las muestras saturadas, esparciendo el material sobre una superficie plana, seca y expuesta al sol, y remover de vez en cuando, hasta que esté seca, lo cual se comprobó utilizando el molde cónico y pisón Humbolt, se llenó el molde en tres partes apisonando cada una con 10 golpes, al levantar el cono se deja caer la muestra y se coloca el cono a un lado para ver si la muestra bajó hasta la medida indicada en el cono o se mantuvo, en caso de mantenerse por encima de la marca se debe secar más tiempo el material.



Figura 33. Comprobación se saturación superficial del cisco

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pesamos 500 gr de material fino



Figura 34. Muestra de cisco

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pesamos una probeta de 500 ml llena de agua



Figura 35. Peso de probeta + agua

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocamos los 500 gr de muestra en la probeta con agua y asentamos dando ligeros golpes en la parte inferior de la probeta para eliminar el aire contenido y pesamos.



Figura 36. Peso probeta + agua + material

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocamos la muestra en una tara conservando el agua, y ponemos en el horno por 24 horas a 105° C para que se seque.



Figura 37. Colocando material en una tara

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Luego de las 24 horas procedimos a pesar el material dejado en el horno para obtener el peso seco en la estufa.



Figura 38. Peso de material seco en la estufa

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Registramos todos los datos obtenidos y con estos procedemos a calcular las gravedades específicas del material y el porcentaje de absorción.

3.1.10.5.3 Ensayo Marshall

Para el diseño de la mezcla tradicional que se utilizó para realizar la comparación con el diseño de mezcla modificada se efectuó el ensayo Marshall, a fin de definir el porcentaje óptimo de asfalto y determinar las propiedades de la mezcla. Dentro de este proceso se llevó a cabo también el ensayo de Densidad Rice y el de extracción de asfalto, además del análisis granulométrico de la mezcla luego de extraer el asfalto tal como se describe a continuación:

- Iniciamos con la separación del material en una superficie plana y amplia donde pudo dejarse el material por 24 horas para que se seque al ambiente.

- Luego de definir la combinación granulométrica en el ensayo respectivo, pesamos los materiales de acuerdo a dicha combinación.
- Calentamos a fuego alto el cemento asfáltico que se utilizó en la mezcla de acuerdo a cinco tanteos para definir el porcentaje óptimo de asfalto, los cuales fueron 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% con respecto al peso total de la muestra.
- Colocamos los agregados en una bandeja metálica y ponemos en el horno para calentarlos hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 140°C, esto se realiza para las cinco muestras de acuerdo a los porcentajes de asfalto.



Figura 39. Colocando agregados a calentar en el horno

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pesar la primera muestra de asfalto correspondiente al porcentaje de 5%, y poner en la estufa para mantener la temperatura de 140°C



Figura 40. Peso de muestra de asfalto

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Sacar del horno la mezcla de agregados precalentada y colocar en la estufa de la cocina para continuar calentándolo y no perder la temperatura de 140°C, verter el asfalto previamente pesado y mezclar hasta que este cubra todo el agregado y mantenga la temperatura.



Figura 41. Mezcla de agregados con asfalto

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Una vez mezclado, verter la mezcla en los moldes de compactación Marshall en tres capas, luego con el martillo de compactación dar 75 golpes de cada lado del molde para formar la briqueta, realizar tres veces este proceso para obtener las tres briquetas por cada porcentaje de tanteo.



Figura 42. Compactación de mezcla para formar briquetas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Repetir el proceso antes descrito para cada porcentaje de tanteo, dando como resultado 15 briquetas para ensayar, marcarlas para su identificación y dejarlas enfriar durante 24 horas, luego de ese tiempo desmoldarlas usando la prensa para desmoldar.
- Pesar las briquetas de tres formas, primero secas, segundo sumergidas en agua y finalmente luego de sacarlas del agua, registrar estos pesos para los futuros cálculos de gravedad específica Bulk
- Precalentar el horno baño maría a 60°C
- Luego de pesar las briquetas, se las colocó en el horno baño maría por 30 minutos controlando que siempre mantenga la temperatura de 60°C.



Figura 43. Briquetas en baño maría

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pasados los 30 minutos se saca una a una las briquetas y se coloca en la prensa Marshall para obtener el dial que permitirá calcular el flujo y las libras que soporta lo cual permite obtener la estabilidad. Registramos para realizar los cálculos respectivos.



Figura 44. Ensayo Marshall

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

En medio de este proceso parte de la mezcla se utiliza para realizar el ensayo de Densidad Rice y de extracción de asfalto, tal como se describe:

- Para la densidad Rice tomamos una muestra de 1500 g y la colocamos en la olla del picnómetro de vacíos y la llenamos de agua.



Figura 45. Muestra en olla de picnómetro

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocamos la olla en el picnómetro durante 5 minutos para extraer los vacíos.



Figura 46. Extrayendo vacíos con picnómetro

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Retiramos la olla y llenamos de agua hasta rebosar, colocamos la tapa de la olla encima y dejamos que se tape por gravedad y procedemos a pesar y registrar, repetimos el proceso en cada una de las muestras de diferente porcentaje de asfalto.
- Para la extracción de asfalto tomamos una muestra de mezcla de 1000 g y la colocamos en el cono de la centrífuga, luego ponemos 750 ml de gasolina medidos con la probeta.



Figura 47. Mezcla de asfalto con gasolina lista para colocar en la centrifuga

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pesamos el filtro, lo calentamos por unos 5 minutos en el horno y colocamos previo a colocar la tapa del cono.



Figura 48. Colocación de filtro

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocar el cono en la centrifuga y dejar actuar por unos minutos hasta que ya no salga gasolina por la manguera de la centrifuga, repetimos este proceso por tres veces cada una con una muestra de gasolina nueva hasta que la muestra salga limpia de asfalto.
- Colocamos la muestra en una tara y dejamos en el horno por 24 horas a 105°C para que se seque.
- Una vez pasado este tiempo pesamos la mezcla y registramos para luego calcular el porcentaje de asfalto extraído, luego realizamos la granulometría para verificar.
- Repetimos el proceso con cada muestra realizada para cada porcentaje de asfalto.



Figura 49. Peso de muestra luego de extraer el asfalto

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.5.4 Comprobación de diseño de mezcla

Una vez definido el porcentaje de asfalto óptimo se realiza todo el proceso descrito en el ensayo Marshall para verificar que los porcentajes tanto de agregados como de asfalto definidos en el diseño proporcionen a la mezcla las condiciones que les permitan cumplir con las normas respectivas y con el tránsito requerido por el proyecto a aplicarse.



Figura 50. Pesando briquetas de comprobación

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1.10.6 Determinación del porcentaje de colillas para modificar la mezcla

Para determinar la cantidad de colillas que se van a adicionar a la mezcla se ha revisado la bibliografía existente en cuanto a asfaltos modificados con desechos como vidrio, plástico, caucho, y otros materiales modificados con colillas de cigarrillo, como se menciona en el capítulo anterior. Además, se consideró que la colilla es un desecho de un volumen promedio de 5.02 cm³, que al introducirse en la mezcla en grandes cantidades inevitablemente causaría efectos negativos puesto que absorbería la mayor parte del asfalto, crearía muchos vacíos y aumentaría indiscriminadamente el peso y volumen de la mezcla de diseño.

Por tanto, se determinó que los porcentajes de colillas a utilizarse serían 0.25% que representan 20 g del peso total de la mezcla u 80 unidades de colillas, 0.5% que representan 40 g del peso total de la mezcla o 160 unidades de colillas y 0.75% que

representan 60 g del peso total de la mezcla o 240 unidades de colillas. Teniendo en cuenta el peso promedio de 0.25 g de una colilla. Un porcentaje por cada muestra de mezcla y tres briquetas por cada porcentaje.



Figura 51. Muestra de 60 g de colillas recicladas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Luego de determinar la cantidad o porcentaje de colillas a colocarse se lleva a cabo un proceso de encapsulación de las mismas descrito a continuación:

- Tomamos las muestras de colillas recicladas las colocamos en una tara y las metimos al horno por 24 horas a 105°C para eliminar toda la humedad.
- Luego de este tiempo con la ayuda de un pisón aplastamos las colillas para eliminar vacíos.
- Calentamos el asfalto a 150°C y sumergimos las colillas de cada muestra en un recipiente con asfalto por unos minutos o hasta que deje de emerger burbujas.



Figura 52. Colillas absorbiendo el asfalto y emergiendo burbujas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Con ayuda de una espátula sacar una a una las colillas rápidamente y escurriendo para eliminar el exceso de asfalto.



Figura 53. Sacar colillas con espátula

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Ir sacando las colillas y colocando en papel para hornear, y dejarlas enfriar por 24 horas para luego poder desprenderlas con facilidad.



Figura 54. Muestra de colillas encapsuladas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Luego de este tiempo desprender del papel y pesar cada muestra para determinar el peso del asfalto absorbido.



Figura 55. Peso de muestra de colillas encapsuladas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

La muestra de 20 g con asfalto llegó a pesar 123 g, la muestra de 40 g llegó a un peso de 219 g y la de 60 g pesó 279 g, la diferencia de esto nos dará el peso de asfalto absorbido, el cual será restado del peso total de asfalto del diseño de mezcla y se colocará solo el peso de cemento asfáltico que haga falta para completar el del diseño.

3.1.10.7 Mezcla asfáltica modificada incorporando tres diferentes porcentajes de colillas de cigarrillo

Una vez que se tenga el diseño de mezcla con el porcentaje óptimo de asfalto, el porcentaje de cada uno de los agregados y el porcentaje de colillas encapsuladas que van a adicionarse, el ensayo a realizar es el Ensayo Marshall, por tanto, se siguió el proceso antes descrito con ciertas variaciones, se realizaron tres mezclas y en cada una se realizaron tres briquetas así mismo se realizó densidad Rice, extracción de asfalto y granulometría:

- Se secaron los agregados previamente al ambiente por 24 horas, pesarlos de acuerdo al diseño y colocarlos en una bandeja metálica para luego llevarlos al horno y calentarlos a 140°C.



Figura 56. Agregados pesados de acuerdo al diseño listos para el horno

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Calentar el asfalto a 150°.



Figura 57. Removiendo el asfalto caliente

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Pesar la diferencia de asfalto que no se encuentre contenido en las colillas encapsuladas para colocar a la mezcla. Para la muestra de 0.25% de colillas pesar 390g, para la muestra de 0.5% de colillas pesar 314g y para la muestra con 0.75% de colillas pesar 274 g de asfalto.



Figura 58. Peso de asfalto para muestra con 0.25% de colillas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Colocar la bandeja con los agregados en la estufa de la cocina y poner las colillas encapsuladas.



Figura 59. Colocando colillas encapsuladas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Luego verter el asfalto previamente pesado, y mezclar todo hasta que se cubran todos los materiales de asfalto.



Figura 60. Mezcla asfáltica con adición de colillas recicladas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Repetir el proceso para cada una de las mezclas con 0.25%, 0.5% y 0.75% de adición de colillas, luego los pasos a seguir son los descritos en el ensayo Marshall. Vertemos la mezcla en los moldes para formar las briquetas con 75 golpes de cada lado del molde.



Figura 61. Briquetas con mezcla modificada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- De la misma forma se toma una muestra para realizar la densidad Rice y una muestra para la extracción de asfalto, realizando los pasos anteriormente descritos.
- Las briquetas son pesadas y así mismo colocadas en baño maría y luego en la prensa Marshall para obtener los datos que nos permitirán conocer sus propiedades.



Figura 62. Ensayo Marshall a mezcla modificada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

- Finalmente se realizó la granulometría a la mezcla modificada, se registran datos y se dibuja la curva.



Figura 63. Colillas retenidas en el tamiz #4

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

3.1 Análisis y Resultados

Una vez llevado a cabo el proceso y ensayos ya descritos, todos los datos obtenidos se van a registrar en los formatos establecidos del laboratorio CONSTRULADESA, para realizar los cálculos respectivos que nos arrojarán los datos que nos permitirán realizar gráficas comparativas entre las propiedades obtenidas de la mezcla modificada y entre la mezcla tradicional y la mezcla con adición de colillas de cigarrillo recicladas.



Solicitado por	: SRTA. KAREN DEATHY MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO AOSIAN TORRES TUMBACO		
Proyecto	: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL DE QUINUA		
Localización	: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL DE QUINUA		
Fiscaliza	: CISOO - CANTERA LICOCHA		
Descripción del material	: CISOO - CANTERA LICOCHA		Muestras: 2
Fecha	: 27 de abril de 2021		
Datos:			
A = Peso de la muestra (SS)	=	500.00	g
B = Peso pectométrico + agua	=	785.90	g
C = Peso + agua + arena	=	1112.80	g
D = Peso seco en la estufa	=	493.90	g
AGREGADO PASANTE TAMIZ # 4			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SECA (BULK)			
Gravedad específica de masa (bulk)	=	$\frac{D}{B - A - C} \times 1000 = \frac{493.90}{785.9 - 500 - 1112.0} \times 1000$	
Gravedad específica de masa (bulk)	=	$\frac{493.90}{222.80} \times 1000$	
Gravedad específica de masa (bulk)	=	2.218	Kg/m ³
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (DSSS)			
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{A}{B - A - C} \times 1000 = \frac{500.00}{785.9 - 500 - 1112.0} \times 1000$	
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{500.00}{222.80} \times 1000$	
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	2.244	Kg/m ³
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE			
Gravedad específica aparente	=	$\frac{D}{B - D - C} \times 1000 = \frac{493.90}{785.9 - 493.9 - 1112.0} \times 1000$	
Gravedad específica aparente	=	$\frac{493.90}{289.00} \times 1000$	
Gravedad específica aparente	=	1.709	Kg/m ³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
Porcentaje de absorción	=	$\frac{A - D}{D} \times 100 = \frac{500 - 493.9}{493.9} \times 100$	
Porcentaje de absorción	=	1.24%	



Ing. Christiana Patricia Guzmán
JEFE DE LABORATORIO

Revisión de formato: 01
Fecha: 07/01/18

Figura 64. Formato para cálculo de gravedades específicas

Fuente: Laboratorio CONSTRULADESA (2021)

Se realizaron gráficos estadísticos en base a los resultados obtenidos, pudiendo identificar si estos resultados se encuentran por encima, por debajo o dentro de los límites permitidos por las normas aplicables, además de analizar cuál de los porcentajes adicionados permite un mejor desempeño de la mezcla.

4 CAPÍTULO IV

4.1 INFORME FINAL

4.1.1 Detalle del informe

El presente informe da a conocer un análisis de los resultados obtenidos al ensayar las briquetas de mezcla asfáltica con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas, muestra un análisis comparativo de las propiedades de una mezcla modificada frente a las de una tradicional y finalmente mediante un caso práctico detalla el impacto en el medio ambiente al practicar la inclusión de este desecho en un material de construcción muy utilizado en todo el mundo como lo es el asfalto.

4.1.2 Resultados de ensayos

Los resultados obtenidos luego de realizar los ensayos descritos en el capítulo anterior inicia con el análisis granulométrico de cada uno de los agregados finos y grueso es decir arena (Ver Anexo 1), piedra $\frac{3}{4}$ y cisco (Ver Anexo 2), donde se obtiene el porcentaje de material que pasa por los tamices y permite graduar u obtener la combinación óptima de agregados, la cual se define en 35% de piedra $\frac{3}{4}$, 45% de cisco y 20% de arena, dicha combinación genera una curva granulométrica que se encuentra dentro de la faja de control y especificaciones del MTOP (Ver Anexo 3).

Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto y realizar el diseño de mezcla tradicional fue necesario también realizar ensayos de gravedad específica el cual se resumen en el Anexo 4.

De la misma forma se realizaron ensayos de Densidad Rice a cada una de las mezclas utilizadas en el tanteo de porcentajes de asfalto es decir para 5% (Ver Anexo 5), 5.5% (Ver Anexo 6), 6% (Ver Anexo 7), 6.5% (Ver Anexo 8) y 7% de asfalto (Ver Anexo 9).

Luego de esto la información es recopilada y procesada en una tabla (Ver Anexo 10) que nos permite realizar gráficos estadísticos que determinan el porcentaje óptimo de asfalto para los porcentajes de agregados seleccionados (Ver Anexo 11), cada gráfico arroja un porcentaje similar y que cumple con lo requerido por la normativa, todos

estos son promediados definiendo el porcentaje óptimo en 5.79% y definiendo así un diseño de mezcla tradicional. (Ver Anexo 12).

Dicho diseño debe aplicarse y comprobarse mediante el ensayo Marshall (Ver Anexo 13), el ensayo de extracción de asfalto (Ver Anexo 14) y finalmente un análisis granulométrico (Ver Anexo 15), donde se puede observar que cumple con una estabilidad de 2868 libras, un flujo de 12 pulg/100, 4.07% de vacíos, gravedad específica Bulk de 2451 Kg/m³ y un porcentaje de asfalto de 5.96% muy parecido al del diseño. Y finalmente una granulometría que se mantiene dentro de la faja de control.

Al tener definido un diseño tipo o de control como lo es el diseño tradicional de la mezcla de asfalto, se procede a modificar la mezcla con cada uno de los porcentajes de adición de colillas definidos es decir 0.25%, 0.5% y 0.75% y a aplicar los mismos ensayos.

Para la adición de 0.25% de colillas de cigarrillo se obtiene una estabilidad de 3205 libras, un flujo de 12 pulg/100, 4.32% de vacíos, gravedad específica Bulk de 2392 Kg/m³, gravedad específica Rice de 2500 Kg/m³ (Ver Anexo 16) y un porcentaje de asfalto de 5.5% parecido al del diseño (Ver Anexo 17). Y finalmente una granulometría que se mantiene dentro de la faja de control, con excepción del tamiz #200 que no llega al mínimo valor requerido por la faja. (Ver Anexo 18).

Para la adición de 0.5% de colillas de cigarrillo se obtiene una estabilidad de 3032 libras, un flujo de 13 pulg/100, 4.72% de vacíos, gravedad específica Bulk de 2422 Kg/m³, gravedad específica Rice de 2542 Kg/m³ (Ver Anexo 19) y un porcentaje de asfalto de 5.75% parecido al del diseño (Ver Anexo 20). Y finalmente una granulometría que se mantiene dentro de la faja de control, con excepción del tamiz #200 que no llega al mínimo valor requerido por la faja. (Ver Anexo 21).

Para la adición de 0.75% de colillas de cigarrillo se obtiene una estabilidad de 2443 libras, un flujo de 14 pulg/100, 5.12% de vacíos, gravedad específica Bulk de 2388 Kg/m³, gravedad específica Rice de 2516 Kg/m³ (Ver Anexo 22) y un porcentaje de asfalto de 5.68% parecido al del diseño (Ver Anexo 23). Y finalmente una granulometría que se mantiene dentro de la faja de control, con excepción del tamiz #200 que no llega al mínimo valor requerido por la faja. (Ver Anexo 24).

4.1.3 Análisis de las principales propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada

Con los ensayos aplicados se han podido cuantificar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada con colillas de cigarrillo, las mismas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada

Muestra con colilla	Estabilidad (Libras)	Flujo (pulg/100)	%Vacíos	GE Bulk Kg/m3	GE Rice Kg/m3	%asfalto
0.25%	3205	12	4.32	2392	2500	5.5
0.50%	3032	13	4.72	2422	2542	5.75
0.75%	2443	14	5.12	2388	2516	5.68

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

A partir de estos resultados se llevó a cabo un análisis mediante gráficos estadísticos de las propiedades relevantes que nos permiten ver el comportamiento de la mezcla.

En la figura 65 se muestra un gráfico estadístico logarítmico realizado en base a los datos obtenidos del ensayo Marshall, donde se puede ver el comportamiento de la estabilidad de la mezcla asfáltica frente a la variación de porcentajes de colillas de cigarrillo recicladas.

Se puede notar que a medida que se aumenta el porcentaje de adición de colillas, la estabilidad de la mezcla disminuye, es decir que al aumentar las colillas en la mezcla esta pierde su capacidad para soportar desplazamiento y deformación ante las cargas ejercidas por los vehículos.

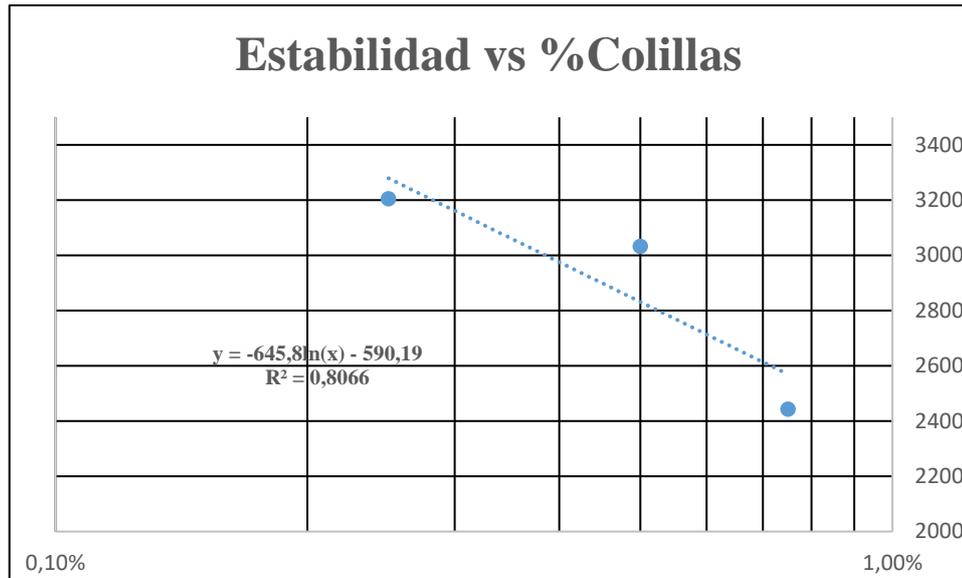


Figura 65. Gráfico de Estabilidad VS % de colillas en mezcla modificada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

En la figura 66 se muestra el gráfico de flujo frente al porcentaje de colillas, en este caso el comportamiento de la mezcla es contrario, se puede ver como al aumentar el porcentaje de colillas el flujo también aumenta, por tanto, al aumentar las colillas la mezcla pierde trabajabilidad y se vuelve más rígida.

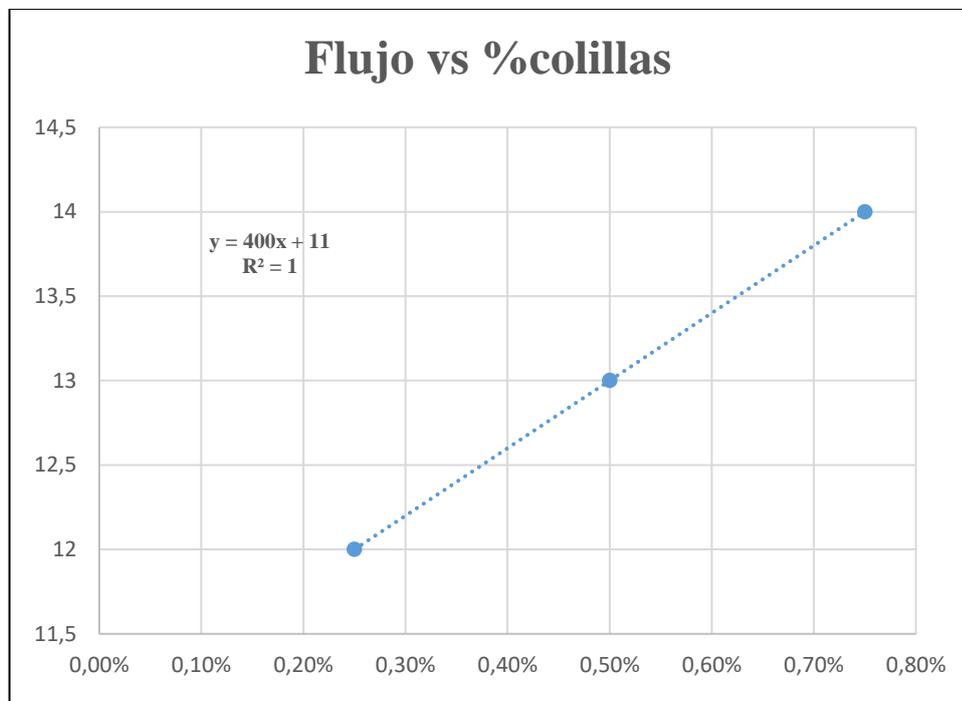


Figura 66. Gráfico de Flujo VS % de colillas en mezcla modificada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Al igual que con el flujo en la figura 67 que muestra el porcentaje de vacíos de la mezcla versus el porcentaje de colillas adicionadas se puede notar como este aumenta a razón del aumento de colillas en la mezcla, al aumentar el porcentaje de vacíos se ven afectadas algunas de las propiedades de la mezcla asfáltica tales como la durabilidad, el existir un alto porcentaje de vacíos la mezcla con el paso del tiempo sufre daños ya que no soportaría las fuerzas externas, se vería también afectada la impermeabilidad puesto que los vacíos permiten el ingreso de agua u otro líquido que causaría daño al pavimento.

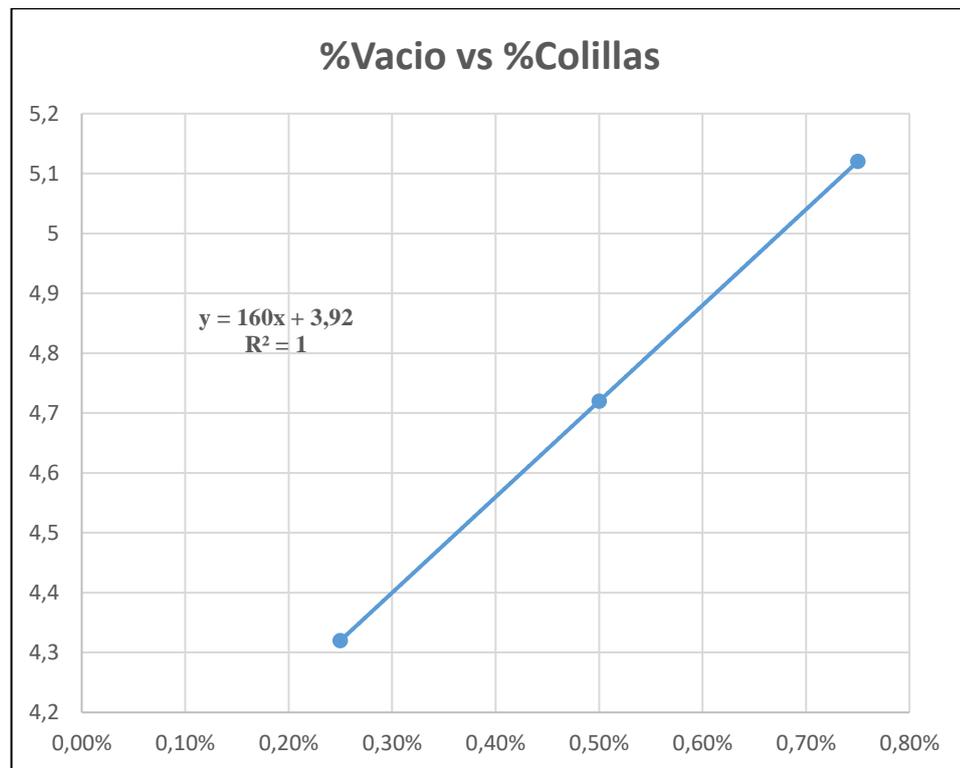


Figura 67. Gráfico de porcentaje de vacíos VS % de colillas en mezcla modificada

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Como se puede notar en las gráficas antes mostradas el comportamiento de la mezcla modificada es bastante predecible en base a los estudios ya realizados con adiciones de vidrio, caucho o plástico reciclado tal como se menciona en los apartados del marco teórico de la presente investigación.

Sin embargo, los resultados obtenidos son bastante prometedores con el medio ambiente y con las técnicas sustentables aplicadas en la construcción.

4.1.4 Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla modificada con inclusión de colillas de cigarrillo frente a las de una mezcla asfáltica tradicional.

Si bien las propiedades o resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados a la mezcla modificada han sido analizados para conocer su comportamiento, es importante también conocer si es posible su aplicación, que necesita mejorarse o cambiarse para poder hacer posible dicha aplicación en la construcción.

Para conocer lo antes mencionado hay que tener en cuenta los parámetros que establece el ente regulador o norma aplicable para vías de asfalto, es decir el MTOP, el cual establece los siguientes parámetros de acuerdo al tipo de tráfico:

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Figura 68. Especificaciones generales del MTOP para mezclas asfálticas en caliente

Fuente: MTOP (2015)

Y a su vez tener en cuenta los valores de diseño obtenidos de la mezcla tradicional, los mismos que nos marcan una línea de cumplimiento puesto que para la práctica de mezcla modificada se ha utilizado dicho diseño de agregados y porcentaje óptimo asfalto, resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Propiedades de diseño de mezcla tradicional

Muestra	Estabilidad (Libras)	Flujo (pulg/100)	% Vacíos	GE Bulk Kg/m ³	GE Rice Kg/m ³
Diseño tradicional	2868	12	4.07	2451	2555

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Al tener identificados los parámetros normativos y los parámetros de diseño obtenidos en el laboratorio es posible llevar a cabo el análisis comparativo entre la mezcla tradicional y la mezcla con adición de colillas a través de gráficos estadísticos tal como se muestra a continuación:

Iniciamos analizando una de las propiedades mecánicas del asfalto más importante y más influyente en el pavimento, tal como lo es la estabilidad.

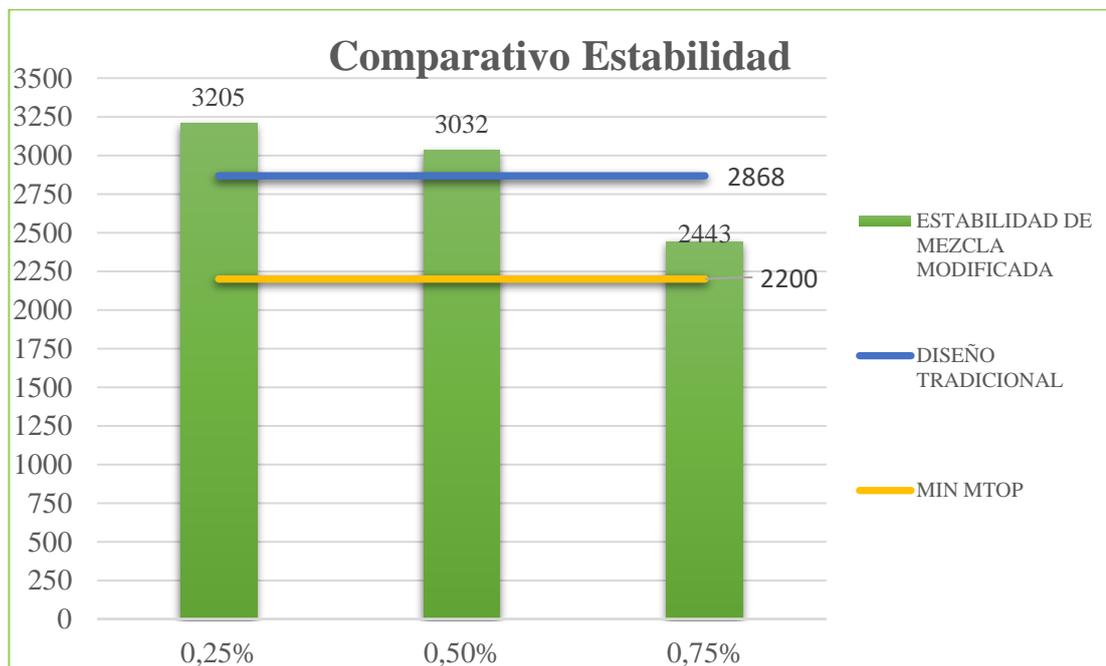


Figura 69. Gráfico comparativo de Estabilidad de las mezclas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

En el mismo se puede observar tres barras que representan los valores de estabilidad obtenidos en cada una de las muestras modificadas con 0.25%, 0.50% y 0.75% de

colillas recicladas y dos líneas, la azul indica la estabilidad obtenida en el diseño de mezcla tradicional y la línea amarilla la estabilidad mínima para tráfico muy pesado establecida por el MTOP.

A través de este gráfico es posible establecer un comparativo entre ambas mezclas, donde se puede ver que la mezcla con adición de 0.25%, tiene mayor estabilidad que una mezcla tradicional, así mismo la mezcla con 0.50% de colillas tiene mayor estabilidad que la tradicional y la mezcla con 0.75% no alcanza la estabilidad establecida por el diseño de mezcla típico.

Es importante mencionar que las tres muestras de mezcla modificada cumplen y superan el mínimo establecido por el MTOP para tráfico muy pesado, se puede notar también que la mezcla con 0.75% de colillas no alcanza la estabilidad del diseño, pero si supera el mínimo del MTOP.

Esta mejora en la estabilidad de la mezcla, se obtiene gracias a que el filtro de la colilla de cigarrillo es de acetato de celulosa, el cual es un polímero natural y como se conoce desde hace muchos años, los polímeros mejoran el comportamiento del cemento asfáltico.

Por lo tanto, en cuanto a estabilidad la mezcla con adición de 0.25% y 0.5% de colillas recicladas tienen un mejor comportamiento frente a la mezcla tradicional puesto que su capacidad de aguantar las fuerzas ejercidas por el tránsito ante desequilibrios y deslizamientos es mayor.

El flujo es otro indicador relevante en una mezcla asfáltica, qué tan rígida o qué tan flexible es la mezcla, para evitar futuras fallas es necesario lograr un equilibrio perfecto que permita que la mezcla sea lo suficientemente rígida para soportar las cargas, pero lo suficientemente flexible para ajustarse ante desequilibrios y desplazamientos que pudiera tener el pavimento.

En la figura 70, se presenta la gráfica que muestra tres barras de color verde que representan el flujo alcanzado por las tres muestras modificadas con colillas y tres líneas donde la azul es indicativo del flujo obtenido en el diseño para la mezcla tipo, y dos líneas amarillas que marcan un mínimo y un máximo flujo de acuerdo a lo establecido por el MTOP para tráfico muy pesado.

Como se puede notar la mezcla con adición de 0.25% de colillas iguala el flujo con respecto al obtenido en la mezcla tradicional con 12 pulg/100, la muestra con 0.5% lo supera llegando a un flujo de 13 pulg/100 y la muestra con 0.75% supera aún más al diseño llegando a 14 pulg/100.

Para el caso del flujo el MTOP establece un mínimo de 8 pulg/100 y un máximo de 14 pulg/100 siendo el máximo una mezcla más rígida y el mínimo una más flexible, como se puede ver las tres muestras modificadas se encuentran dentro del rango, sin embargo, solo la modificada con 0.25% alcanza el valor óptimo establecido por el diseño, ya que si bien es cierto existe un rango permitido, para conseguir ese equilibrio mencionado es importante mantenerse con valores medios dentro de dicho rango.

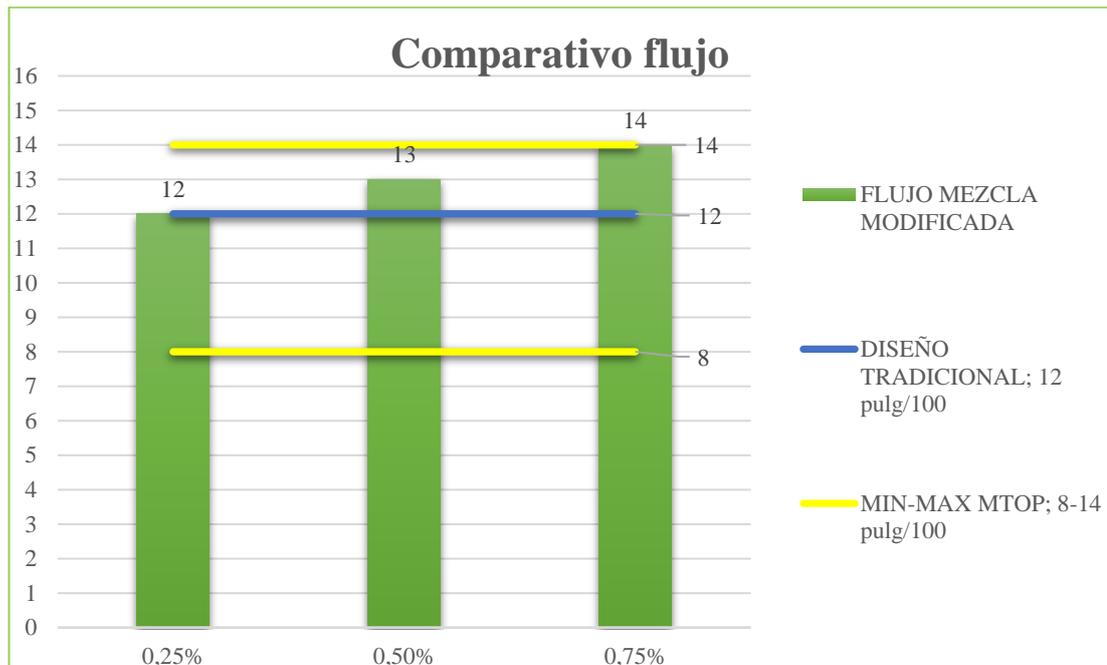


Figura 70. Gráfico comparativo de Flujo de las mezclas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Si una mezcla asfáltica presentara un porcentaje de vacíos por encima de lo permitido comenzaría a agrietarse, afectado su propiedad de durabilidad y también su impermeabilidad, este porcentaje está directamente relacionado con la compactación de la mezcla, este debe ser lo suficientemente pequeño para evitar la degradación de la mezcla con la aplicación de carga y no debe ser tan grande, pues se deben evitar la inestabilidad estructural y la exudación.

En el gráfico comparativo realizado y mostrado en la Figura 71, se pueden ver tres barras que muestran el porcentaje de vacíos alcanzado por las tres muestras modificadas con colillas y de igual manera tres líneas donde dos de ellas limitan el rango mínimo y máximo establecido por el MTOP y la línea azul que indica el porcentaje de vacíos de la mezcla tipo diseñada en el laboratorio.

La muestra con 0.25% es la más cercana al valor del diseño con un porcentaje de 4.32% frente al 4.07% de la mezcla típica, la muestra con 0.5% de colillas supera el valor del diseño con un 4.72% y la mezcla con 0.75% supera el diseño con un porcentaje de 5.12%.

Como se puede notar las muestras con 0.25% y 0.5% se encuentran dentro del rango establecido por el MTOP, a pesar de que la muestra con 0.5% se acerca mucho al límite máximo, en el caso de la mezcla con 0.75% supera el límite máximo.

De igual manera que con el flujo, a pesar de tener un rango permitido es importante mantenerse en el centro de ese rango para lograr el equilibrio necesario, por tanto, la mezcla con 0.25% cumpliría con un porcentaje óptimo de vacíos, y se asemeja mucho a la de la mezcla tradicional.

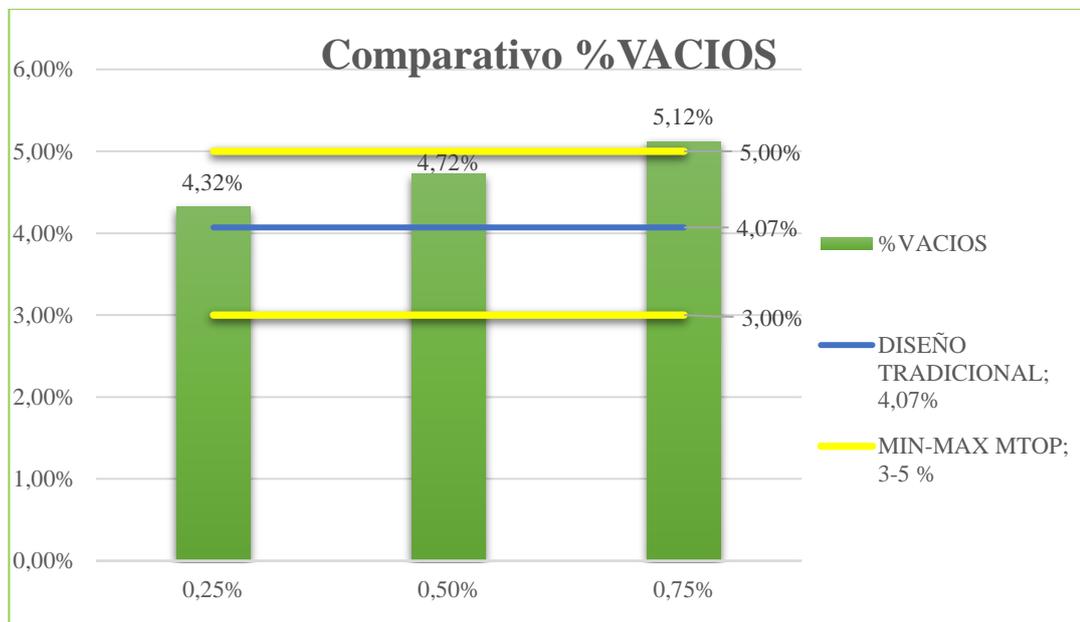


Figura 71. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Para soportar o verificar el tema de porcentaje de vacíos la gravedad específica Rice y la gravedad específica Bulk nos indican el comportamiento de la mezcla con respecto a los vacíos en dos escenarios, el primero cuando la mezcla aún no se ha compactado y la segunda cuando ya es un espécimen compactado.

Para ello podemos ver como en las Figuras 72 y 73 ambas gravedades disminuyen con respecto a la del diseño de la mezcla tradicional, puesto que como se puede ver en la figura 71 el porcentaje de vacíos aumenta con respecto al del diseño.

Es posible que los vacíos en la mezcla modificada se presentaran por el volumen y forma que presentan las colillas, además del filtro de acetato de celulosa, que son un conjunto de fibras que albergan vacíos entre ellas.

En ambos gráficos las barras representan las gravedades específicas respectivas y la línea azul la gravedad del diseño de mezcla tradicional.

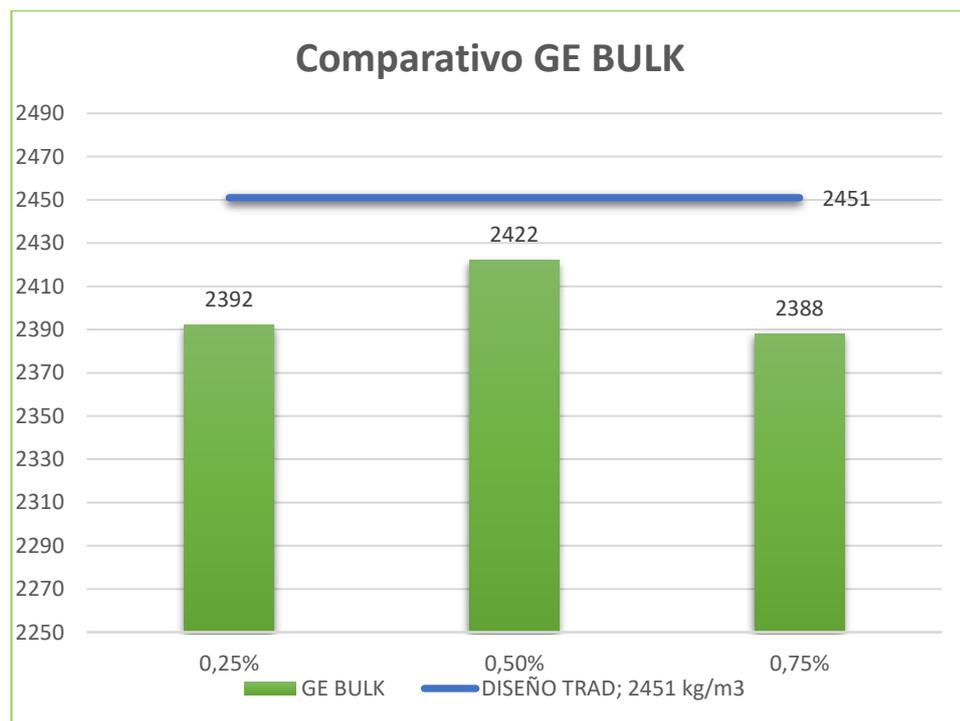


Figura 72. Gráfico comparativo de GE Bulk de las mezclas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

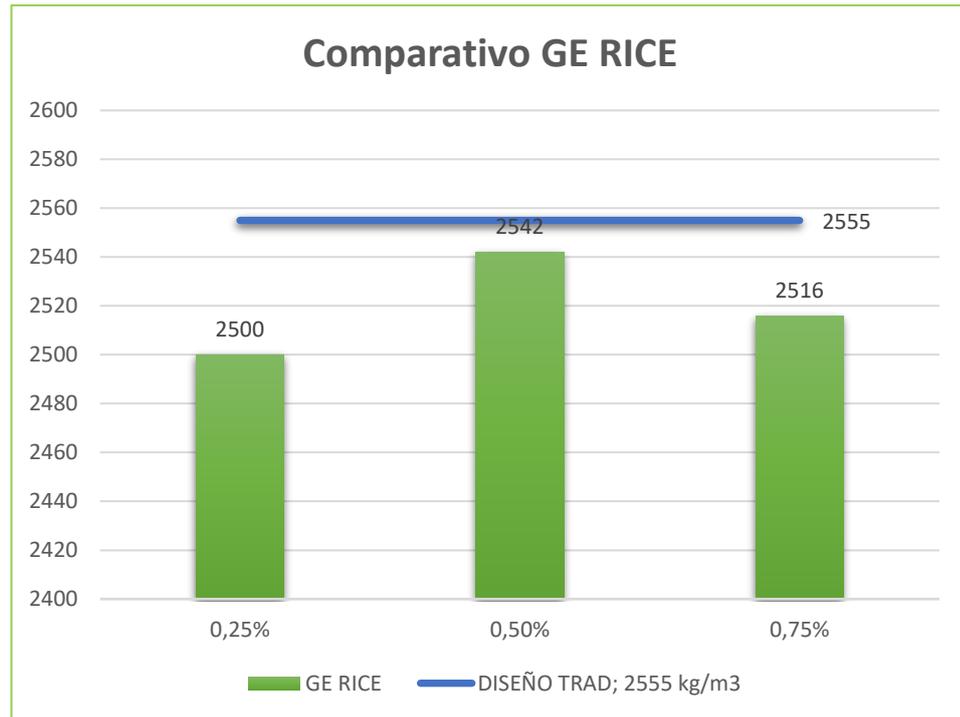


Figura 73. Gráfico comparativo de la GE Rice de las mezclas

Elaborado por: Muñoz & Torres (2021)

Todas las propiedades de la mezcla además de depender del ligante y un porcentaje ideal del mismo, también depende de unos agregados de calidad. La adhesividad es una propiedad que depende de los agregados utilizados en la mezcla, puesto que el ligante va a funcionar de acuerdo a las características de la superficie de los agregados.

Por lo que realizar una correcta graduación de materiales permitirá que esa adhesividad sea mucho más efectiva y por tanto al modificar la mezcla es importante verificar que se cumpla también con esa graduación de materiales a través del análisis granulométrico.

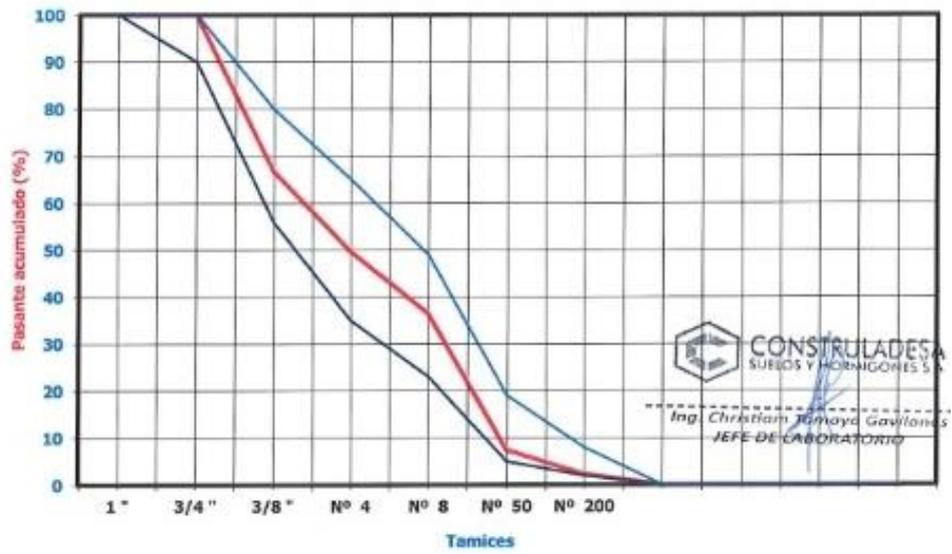


Figura 74. Análisis granulométrico de mezcla típica

Fuente: Laboratorio CONSTRULADESA (2021)

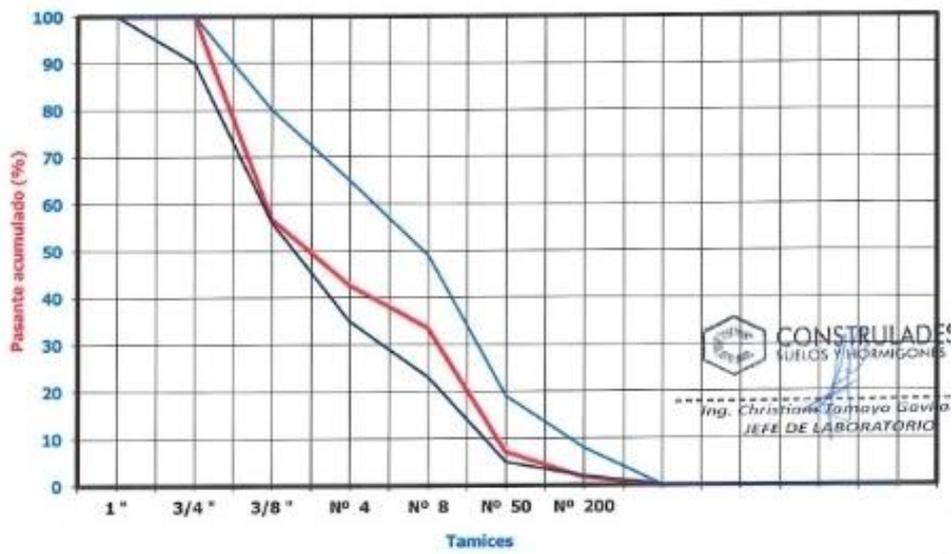


Figura 75. Análisis granulométrico de mezcla con 0.25% de colillas

Fuente: Laboratorio CONSTRULADESA (2021)

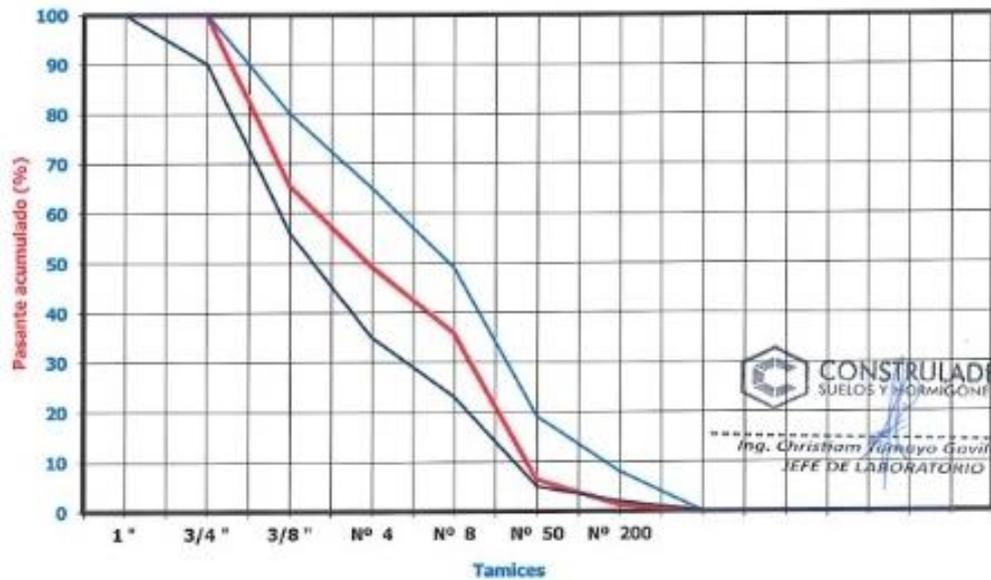


Figura 76. Análisis granulométrico de mezcla con 0.5% de colillas

Fuente: Laboratorio CONSTRULADESA (2021)

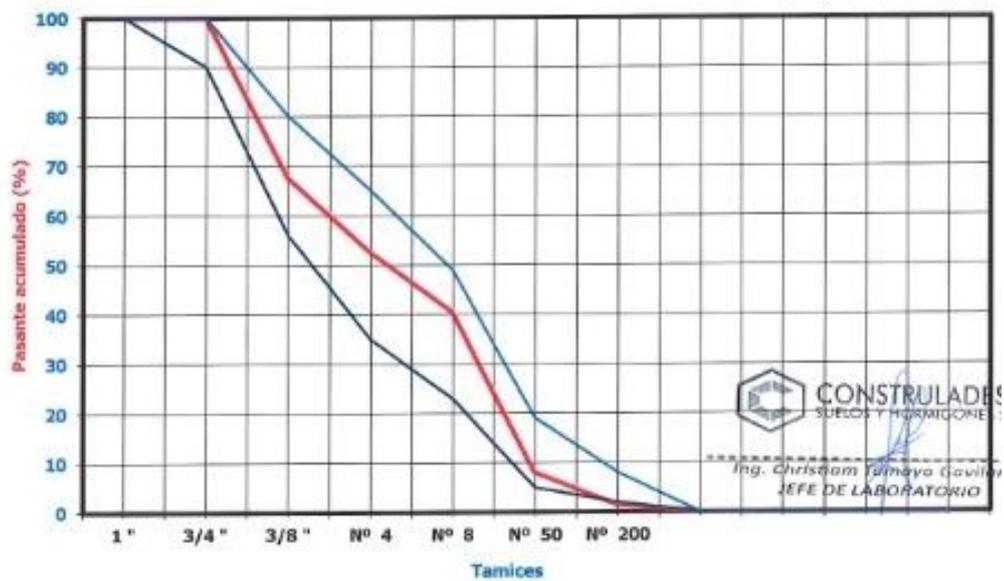


Figura 77. Análisis granulométrico de mezcla con 0.75% de colillas

Fuente: Laboratorio CONSTRULADESA (2021)

En la figura 74 se muestra el análisis granulométrico de la mezcla tradicional la cual se encuentra dentro de la faja de trabajo con el porcentaje pasante adecuado para cada tamiz, en la figura 75, 76 y 77 se muestra la granulometría de la mezcla modificada con 0.25%, 0.5% y 0.75% de colillas respectivamente.

Se puede ver que en las tres gráficas de mezcla modificada los porcentajes de material pasante en cada tamiz se encuentran dentro de la faja de trabajo, exceptuando el tamiz #200 en los tres casos donde se puede ver que no se encuentra dentro de la faja, es posible que esto se deba a que el material fino se haya introducido entre las fibras del filtro de las colillas al realizar la mezcla, sin embargo, la diferencia en los tres casos con respecto a la del diseño es mínima.

4.1.5 **Análisis final**

Las principales propiedades físico-mecánicas de una mezcla de asfalto son la estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, por nombrar las principales y más importantes.

Para que todas estas propiedades se cumplan o estén presentes en la mezcla asfáltica es necesario cumplir con los parámetros de diseño establecidos por la norma, como lo son principalmente la estabilidad, el flujo, el porcentaje de vacíos, un porcentaje óptimo de asfalto, un buen enlace árido-ligante, materiales o agregados de calidad.

Debido a que las colillas son un material adicional a esa mezcla que debe cumplir con todos los requisitos antes mencionados, se llevó a cabo el encapsulamiento, un paso importante dentro del proceso ya que el mismo permitió quitar por completo la humedad al pasar por el horno, permitió protegerla de las altas temperaturas y además que no emitiera desechos del papel envoltorio, o cisco de tabaco, además de la cantidad de sustancias químicas presentes en el filtro.

Otra de las razones para encapsularla fue lograr embeberla en asfalto para eliminar la mayor cantidad de vacíos y que al entrar en contacto con la mezcla pudiera adherirse con facilidad y no creara vacíos en la mezcla, sino que se compactara y adhiriera ya que el asfalto a pesar de estar en altas temperaturas no se sale de las colillas.

Tomando en cuenta esto, además de haber seleccionado material de calidad que el mismo se encontrara limpio, un porcentaje óptimo de asfalto calculado bajo los procedimientos y ensayos respectivos se han obtenido los resultados ya descritos anteriormente.

De las tres muestras ensayadas es decir la muestra 1 con una adición de 0.25%, la muestra 2 con una adición de 0.5% y la muestra 3 con una adición de colillas recicladas de 0.75%, en base a los resultados y análisis comparativos realizados con respecto a la mezcla tradicional, la muestra 1 es la que cumple con los parámetros y se asemeja mucho a la mezcla típica diseñada en el laboratorio. Además de que en cuanto a estabilidad supera a la del diseño.

Por tanto, es la muestra que cumpliría con los parámetros de diseño y con los establecidos por el MTOP, con propiedades favorables y que además permitiría brindar al ámbito de la construcción una alternativa positiva para el ambiente.

4.1.6 Impacto ambiental

La acción de incluir colillas de cigarrillo en una mezcla asfáltica desde el punto de vista ambiental es positiva, puesto que es posible darle una disposición final a este desecho que, aunque parezca insignificante por su tamaño genera mucha contaminación y daño al ambiente.

A continuación, se realiza un ejercicio práctico, donde se utiliza 0.25% de colillas del peso total de la mezcla asfáltica requerida para la construcción de una vía de asfalto que une el cantón Simón Bolívar ubicado en la provincia del Guayas con la parroquia Pueblo Nuevo del cantón Babahoyo, provincia Los Ríos.

Proyecto: Carretera Simón Bolívar – Pueblo Nuevo

Distancia: 10.500m **Ancho de Vía:** 6.5m **Espesor:** 0.07m

Cantidad de Asfalto utilizado: 47.775 m³

Densidad obtenida de Asfalto Tradicional (Ver Anexo 12): $2458 \frac{kg}{m^3}$

Adición colillas de cigarrillo: 0.25%

$$2458 \frac{kg}{m^3} \times 0.25\% = 6,145 \frac{kg}{m^3}$$

Peso total de colillas recicladas en carretera:

$$47.775m^3 \times 6,145 \frac{kg}{m^3} = 293.577,38 \text{ kg de colillas}$$

Peso promedio de 1 colilla de cigarrillo: 0.00025kg

$$\frac{293.577,38 \text{ kg}}{0.00025 \text{ kg}} = 1.174'309.520,00 \text{ de colillas}$$

Como se puede observar en el ejercicio anterior, con tan solo utilizar un 0.25% de adición de colillas es posible reciclar 1.174'309.520,00 de los 4.5 trillones que se desechan anualmente en el ambiente de acuerdo a los datos de la OMS.

Además de esto, el reciclaje desde el punto de vista social genera empleo, es una práctica que con el paso del tiempo se está implementando en grandes países, y que si se empieza a normalizar el uso de este desecho en otros campos se va a convertir en una práctica de reciclaje común que podría generar ingresos.

Finalmente, si se realiza esta práctica en los nuevos proyectos viales alrededor del mundo sería posible disminuir esa cifra alarmante de contaminación y aportar una solución sustentable.

5 CONCLUSIONES

Tal como esta investigación lo ha demostrado se ha dosificado la cantidad de colillas de cigarrillo que fueron incluidas en el hormigón asfáltico, lo cual da cumplimiento al primer objetivo específico de la investigación. La misma que se realizó en base a la bibliografía existente sobre mezclas asfálticas modificadas con materiales reciclados y al volumen que ocuparía la muestra de colillas en la mezcla, se definió en 0.25%, 0.50% y 0.75% con respecto a los 8000 g de masa que representan los componentes de la mezcla de diseño tradicional.

El segundo objetivo específico de la investigación plantea un análisis del comportamiento del hormigón asfáltico al adicionarse las colillas de cigarrillo, el cual se cumple mediante un análisis de gráficos estadísticos que nos muestran las propiedades de la mezcla obtenidas en los ensayos de laboratorio, donde se puede observar principalmente que a medida que se aumenta el porcentaje de colillas, la estabilidad disminuye y el flujo aumenta, así mismo se puede ver que el aumento de colillas causa un aumento en el porcentaje de vacíos el cual es un factor determinante para evitar futuras fallas en el pavimento.

El tercer objetivo planteado es determinar el impacto ambiental que genera reciclar colillas de cigarrillo y utilizarlas como parte de una mezcla asfáltica, el cual se cumple mediante la formulación de un ejercicio práctico donde se utiliza un porcentaje de colillas en base a nuestra dosificación y se lo aplica al peso total de la mezcla de una vía existente en Ecuador, pudiendo demostrarse que es posible dar una disposición final al desecho generando un impacto positivo al ambiente puesto que la cantidad de colillas que podrían reciclarse en una vía de 10.5 km de longitud es de 1.174'309.520,00 de los 4.5 trillones de colillas desechadas anualmente en el mundo.

El cumplimiento de estos objetivos específicos nos lleva a poder cumplir el objetivo general planteado donde se establece analizar las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional. Este objetivo se llevó a cabo inicialmente dosificando las colillas que se incluirían en la mezcla, también analizando en primer lugar a la mezcla modificada de manera individual para finalmente mediante gráficos estadísticos llevar a cabo el análisis comparativo entre ambas mezclas.

La muestra con 0.25% de colillas presenta una estabilidad mayor, un flujo igual, un porcentaje de vacíos ligeramente mayor y unas gravedades específicas menores en función del ligero aumento de vacíos con respecto a la tradicional. Para la muestra de 0.5% se puede ver un aumento en la estabilidad, un aumento en el flujo, aumento en los vacíos, y disminución en las gravedades específicas. Al final, la muestra de 0.75% presenta una disminución en la estabilidad, aumento en el flujo, en los vacíos y disminución en las gravedades específicas, con respecto a la mezcla de diseño tradicional.

Se califica con juicio de valor verdadero la hipótesis de investigación; las propiedades físico-mecánicas del hormigón asfáltico con colillas de cigarrillo recicladas son mejores que las de un hormigón asfáltico tradicional. La muestra con 0.25% de adición de colillas muestra un mejor comportamiento en cuanto a la estabilidad debido a que el acetato de celulosa es un polímero natural que mejora las propiedades del asfalto, y tiene un comportamiento similar a la mezcla tradicional en cuanto a flujo, porcentaje de vacíos, gravedades específicas, por tanto, al mejorar su estabilidad y conservar un comportamiento similar al del tradicional supondrá un pavimento que soporte mayor carga y aumente su tiempo útil, económicamente eso genera una disminución en gastos operacionales, en el ámbito ambiental sería una solución a la falta de disposición final para las colillas desechadas además de socialmente generar empleo mediante el reciclaje. Al cumplir con todos estos factores lo convierte en un proyecto sustentable por tanto es mejor que un hormigón asfáltico tradicional.

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio comparativo por medio de ensayos de laboratorio, de la resistencia a deformación plástica del hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional.

El método que se implementó consiste en el encapsulamiento de las colillas con asfalto, del cual se obtuvo buenos resultados con sustento a lo comentado en las conclusiones; sin embargo, se recomienda estudiar el comportamiento de la mezcla adicionando las colillas directamente a la mezcla sin un previo encapsulamiento.

Se recomienda realizar un análisis económico del proceso de reciclaje de las colillas; para determinar el costo directo de la mezcla asfáltica no tradicional, factibilidad de la inclusión de esta materia prima e identificar beneficios en distintos aspectos en cuanto a la parte económica.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu Abdo, A. (2017). INVESTIGATION THE EFFECTS OF ADDING WASTE PLASTIC ON ASPHALT MIXES PERFORMANCE. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(15), 4351-4356. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/319312392_Investigation_the_effects_of_adding_waste_plastic_on_asphalt_mixes_performance
- Ali , S. S., Ijaz, N., Aman, N., & Noor, E. (2017). FEASIBILITY STUDY OF LOW DENSITY WASTE PLASTIC IN NON-LOAD BEARING ASPHALT PAVEMENT IN DISTRICT FAISALABAD. *Earth Sciences Pakistan*, 1(2), 17-18. doi:10.26480/esp.02.2017.17.18
- Asphalt Institute. (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfálticas en Caliente*. Asphalt Institute.
- Bonanomi, G., Incerti, G., Cesarano, G., Gaglione, S., & Lanzotti, V. (27 de enero de 2015). Descomposición de colillas de cigarrillo y cambios químicos asociados evaluados por C CPMAS NM. *PLoS ONE*, 1, 1-10. doi:10.1371/journal.pone.0117393
- Bravo, D. (17 de octubre de 2018). Discrepancias por la calidad del asfalto. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/discrepancias-calidad-asfalto-repavimentacion-quito.html>
- Capa Moya, K. G. (2017). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO*. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26852>
- Chimborazo , W. (2012). *Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método SUPERPAVE*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/760>
- Correa Lesmes, C. A. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON GRANULO DE CAUCHO EN EL BARRIO SAN CARLOS DE LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, FACULTAD DE INGENIERÍA, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/20506>
- Cui, Y., Wu, Z.-r., Li , Y., & Yang, H. (2018). Experimental Study on Determining the Optimum Cigarette Butt Content of Modified Bituminous Mixture of Cigarette Butts. *Journal of Civil Engineering and Architecture* , 12, 447-453. doi:10.17265/1934-7359/2018.06.005
- Dobaradaran, S., Schmidt, T., Parodi, N. L., Jochmann, M., Nabipour, I., Raeisi, A., . . . Mahmoodi, M. (2019). Cigarette butts: An overlooked source of PAHs in the

environment? *Environmental Pollution*, 249, 932-939.
doi:10.1016/j.envpol.2019.03.097

- Freire Alvear, K. N. (2018). *Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil, Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15089>
- Gargate Alva, F., & Huamaní Sanchez, J. (2018). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible*. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/34891>
- Granda-Orive, J., & García-Quero, C. (2019). La e-basura: rare earth elements, nuevos tóxicos presentes en los cigarrillos y cigarrillos electrónicos. *Archivos de Bronconeumología*, 1-2. doi:10.1016/j.arbres.2019.10.018
- Huamán Guerrero, N., & Chang Albitres, C. (2016). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. *Perfiles de Ingeniería*, 2(11), 23-31.
doi:10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.402
- Izquierdo, C. (15 de diciembre de 2017). Novedades en tabaquismo. *Atalaya Médica*, 1(12), 9-15. Obtenido de http://www.comteruel.org/documentos/AtalayaMedica_12.pdf
- Joly, F.-X., & Coulis, M. (2018). Comparison of cellulose vs. plastic cigarette filter decomposition under distinct disposal environments. *Waste Management*, 72, 349-353. doi:10.1016/j.wasman.2017.11.023
- Kurmus, H., & Mohajerani, A. (2020). Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. *Materials*, 13(3), 1-18. doi:10.3390/ma13030790
- Kurmus, H., & Mohajerani, A. (2020). The toxicity and valorization options of cigarette butts. *Waste Management*, 104, 104-118. doi:10.1016/j.wasman.2020.01.011
- Landinez Saurith, A. J., Lázaro Suárez, J. S., & Restrepo Piedrahita, G. A. (2017). *Análisis físico-mecánico de mezclas densas en caliente mdc-19 con adición de tiras de geotextil de 1 cm*. Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/14619>
- López, T., & Miró, R. (2017). Cuadernos Tecnológicos de la PTC. *El daño por humedad en las mezclas asfálticas*, V. Madrid, España. Obtenido de Plataforma Tecnológica Española de la Carretera: https://www.ptcarretera.es/wp-content/uploads/2018/07/05_2017_upc_def.pdf
- Marcillo Piña, V. (2018). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN*. Universidad

Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Ingeniería Civil. Guayaquil: ULVR, 2018. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2354>

Marinello, S., Lolli, F., Gamberini, R., & Rimini, B. (2020). A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 1-20. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121245

Martinez, G., Caicedo, B., González, D., Celis, L., Fuentes, L., & Torres, V. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(1), 41-50. doi:10.4067/S0718-50732018000100041

Matta, J., & Perez, J. (2019). *Propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente al adicionarle cenizas de algas marinas*. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Chimote. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/38752>

Minaya Gonzalez, S., & Ordóñez Huaman , A. (2001). *Manual de Laboratorio Ensayos para Pavimentos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de https://www.academia.edu/37081471/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIER%C3%8DA_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_Laboratorio_No.2_de_Mec%C3%A1nica_de_Suelos_y_Pavimentos_MANUAL_DE_LABORATORIO_ENSAYOS_PARA_PAVIMENTOS_VOLUMEN_I_AUTORES

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (01 de abril de 2015). *Obras Públicas*. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/pichincha-es-la-primera-provincia-del-ecuador-donde-se-coloco-mezcla-asfaltica-modificada-con-caucho-reciclado/>

Mohajerani, A., Abdul Kadir, A., & Larobina, L. (2016). A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management*, 52, 228-244. doi:10.1016/j.wasman.2016.03.012

Olarte Riaño, B. N., & Soler Sánchez, R. D. (2018). *EFFECTO DEL GRANO DE CAUCHO EN EL AHUPELLAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MD-12*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS , TUNJA. Obtenido de <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3094>

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Día Mundial Sin Tabaco 2017: venzamos al tabaco en favor de la salud, la prosperidad, el medio ambiente y el desarrollo de los países*. Ginebra. Obtenido de <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/no-tobacco-day/es/>

Ortiz, E., & Macías, L. (2018). Análisis de las características y propiedades del asfalto convencional producido en la refinería de Esmeraldas, para proponer alternativas de mejoramiento de las propiedades con polímeros. *Revista Caribeña de Ciencias*

Sociales, 1(9), 1-11. Obtenido de
[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/propiedades-asfalto-convencional.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/propiedades-asfalto-convencional.html)

- Rahman, M., Mohajerani, A., & Giustozzi, F. (2020b). Recycling of Waste Materials for Asphalt Concrete and Bitumen: A Review. *Materials*, 7(13), 1-20.
doi:10.3390/ma13071495
- Rahman, M., Mohajerani, A., & Giustozzi, F. (2020a). Possible Recycling of Cigarette Butts as Fiber Modifier in Bitumen for Asphalt Concrete. *Materials*, 8(3), 1-29.
doi:10.3390/ma13030734
- Ramos Galván, C. E., Rivera Armenta, J. L., Salazar Cruz, B. A., & Escobar Medina, F. J. (2019). Efecto de la adición de materiales compuestos de estireno-butadieno/plumas de pollo en la modificación de asfaltos. *Revista de Ingeniería Civil*, 3(9), 1-6. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/339491368>
- Reyes Lizcano, F. (2008). Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Infraestructura Vial*, 10(19), 10-20. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/279750172>
- Rodríguez, D., Rodríguez, C., Ramírez, S., & Flórez, C. (2016). Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina. *Ingeniare*(20), 47-61. doi:10.18041/1909-2458/ingeniare.20.408
- Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Setyarini, N., & Tajudin, A. (2019). Characteristics of Asphalt Concrete Mixed Using Aggregates Coated by Low Density Polyethylene (LDPE) Plastic Waste. *Proceedings of the 11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference*. 186, págs. 12-15. Malang: Atlantis Press. doi:10.2991/apte-18.2019.1
- Villegas, R., Aguiar, J., & Loria, L. (2018). Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 8(1), 7-18. Obtenido de <http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2000>

8 ANEXOS

8.1 Ensayos de Laboratorio

Anexo 1



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLO REICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fecha : 27 de abril de 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

procedencia : PIEDRA TRITURADA TM 3/4" - CANTERA LICOSA

Muestra # 1

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% que pasa
Nº	mm				
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19.00	123.30	2.47	2.47	97.53
1/2 "	12.50	2682.98	57.66	60.13	39.87
3/8 "	9.50	1670.48	33.41	93.54	6.46
No. 4	4.75	308.26	6.17	99.70	0.30
No. 8	2.36	5.58	0.11	99.81	0.19
No. 16	1.18	0.73	0.01	99.83	0.17
No. 30	0.60	0.00	0.00	99.83	0.17
No. 50	0.30	0.00	0.00	99.83	0.17
No. 100	0.15	1.17	0.02	99.85	0.15
No. 200	0.075	3.96	0.08	99.93	0.07
FONDO		3.52	0.07	100.00	0.00
e =		5,000.00			

procedencia : CISCO - CANTERA LICOSA

Muestra # 2

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% que pasa
Nº	mm				
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2 "	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 "	9.50	330.84	6.62	6.62	93.38
No. 4	4.75	1126.43	22.53	29.15	70.85
No. 8	2.36	964.95	19.30	48.44	51.56
No. 16	1.18	681.37	13.63	62.07	37.93
No. 30	0.60	578.97	11.58	73.65	26.35
No. 50	0.30	307.21	6.14	79.80	20.20
No. 100	0.15	263.88	5.28	85.07	14.93
No. 200	0.075	196.93	3.94	89.01	10.99
FONDO		549.43	10.99	100.00	0.00
e =		5,000.00			



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Ing. Christian Tamayo Gamales
JEFE DE LABORATORIO

Revisión de formato: 01

Fecha: 07/01/18

Anexo 2



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLO REICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fecha : 27 de abril de 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

procedencia : ARENA CRIBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8") - CANTERA LICOSA
Muestra # 3

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% que pasa
Nº	mm				
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2 "	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8 "	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	299.09	5.98	5.98	94.02
No. 8	2.36	425.76	8.52	14.50	85.50
No. 16	1.18	622.80	12.46	26.95	73.05
No. 30	0.60	1861.37	37.23	64.18	35.82
No. 50	0.30	1439.13	28.78	92.96	7.04
No. 100	0.15	277.97	5.56	98.52	1.48
No. 200	0.075	31.67	0.63	99.16	0.84
FONDO		42.22	0.84	100.00	0.00
e =		5,000.00			



.....
 Ing. Christian Tamayo Gavilanes
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo 3



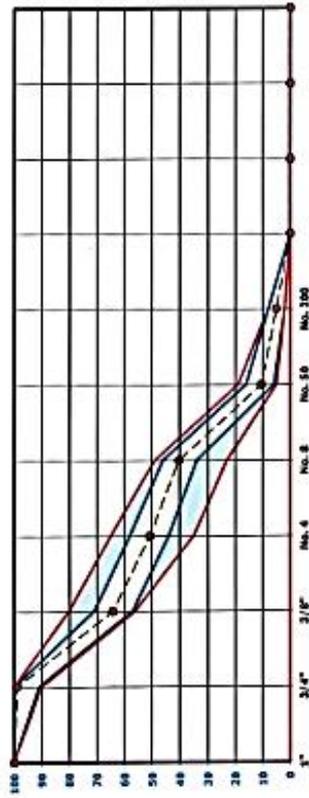
Solicitado por : SRITA, KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO **Fecha :** 27/abril/2021
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON APALTICO CON INCLUSION DE COLAJAS DE CEBOLLO RECOCCADO Y EL HORMIGON APALTICO TRADICIONAL
Localización : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fiscaliza : MEZCLA ASFALTICA
Descripción :

GRADUACIÓN DE MATERIALES

MATERIAL	PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	16	30	50	100	200
PIEDRA TRITURADA TM 3/4" - CANTERA LICOSA	100.00	97.53	39.87	6.46	0.30	0.19	0.17	0.17	0.17	0.15	0.07
CISSCO - CANTERA LICOSA	100.00	100.00	100.00	93.38	70.85	51.56	37.93	26.35	20.20	14.93	10.99
ARENA DEBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8") - CANTERA LICOSA	100.00	100.00	100.00	100.00	94.02	85.50	73.05	35.82	7.04	1.48	0.84

GRADUACIÓN DE MATERIALES

MATERIAL	%	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
PIEDRA TRITURADA TM 3/4" - CANTERA LICOSA	35	35.00	34.14	13.95	2.26	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.02
CISSCO - CANTERA LICOSA	45	45.00	45.00	45.00	42.02	31.88	23.20	17.07	11.86	9.09	6.72	4.95
ARENA DEBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8") - CANTERA LICOSA	20	20.00	20.00	20.00	20.00	18.80	17.10	14.61	7.16	1.41	0.30	0.17
GRANULOMETRIA COMBINADA	100.00	99.14	78.95	64.28	50.79	40.37	31.74	19.08	10.56	7.07	5.14	3.14
ESPECIFICACION MOP	100	90 - 100	54 - 80	35 - 65	23 - 49	15 - 25	10 - 20	6 - 12	4 - 8	3 - 6	2 - 4	1 - 2
FAJA DE CONTROL	100.00	91 - 100	57 - 71	44 - 58	34 - 45	25 - 35	18 - 28	12 - 18	8 - 12	6 - 10	4 - 7	3 - 5



Faixa de trabalho
 Especificaciones MOP
 Curva granulométrica



Revisión de formato: 01

Anexo 4



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLLITAS DE CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
Localización : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fiscaliza : 27/abril/2021
Fecha :

Gravedades	PIEDRA TRITURADA TM 3/4" - CANTERA LICOSA	CISCO - CANTERA LICOSA	ARENA CRIBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8") - CANTERA LICOSA	Asfalto	Suman	Densidad Teórica
Gravedad Especifica de masa (Gsb)	2.872	2.838	2.608	1.012		100/suman
Graveda especifica de s.s.s	2.907	2.878	2.629	1.012		
Gravedad especifica aparente	2.976	2.956	2.663	1.012		
% Original de la mezcla	35	45	20		100	
5.0% asfalto	33.25	42.75	19	5	100.0	
%/Gravedad Especifica de masa	11.577	15.063	7.284	4.941	38.865	2.573
5.5% asfalto	33.075	42.525	18.9	5.5	100	
%/Gravedad Especifica de masa	11.516	14.984	7.246	5.435	39.181	2.552
6.0% asfalto	32.9	42.3	18.8	6	100	
%/Gravedad Especifica de masa	11.455	14.905	7.208	5.929	39.497	2.532
6.5% asfalto	32.725	42.075	18.7	6.5	100	
%/Gravedad Especifica de masa	11.394	14.826	7.169	6.423	39.812	2.512
7.0% asfalto	32.55	41.85	18.6	7	100	
%/Gravedad Especifica de masa	11.333	14.746	7.131	6.917	40.128	2.492



Ing. Christian Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO
 Revisión de formato: 01
 Fecha: 07/01/18

Anexo 6



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ANALÍTICA COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN AMPLIFICADO POR INYECCIÓN DE CIGARRAS DE CEMENTO RECICLADO Y EL HORMIGÓN CONVENCIONAL
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Descrip. del material :
Fecha : 27 de abril de 2021

ENSAYO DE DENSIDAD RICE

% de asfalto	=	5.50	%
A = Peso de la muestra	=	2,000.00	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (antes del ensayo)	=	9,385.00	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (después del ensayo)	=	8,604.97	gr
D = Volumen de muestra suelta	=	780.03	cm ³

$$\text{Rice} = \frac{A}{D} \times 1000 = \frac{2,000.00}{780.03} \times 1000$$

$$\text{Rice} = 2,564 \text{ Kg/m}^3$$



Ing. Christian Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 7



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TRECE GRUPOS ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN MÁS LIGERO CON FILLING DE POLIURETANO DE CARBONILLO RECULADO Y EL HORMIGÓN ANALÍTICO TRADICIONAL
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Descrip. del material :
Fecha : 27 de abril de 2021

ENSAYO DE DENSIDAD RICE

% de asfalto	=	<u>6.00</u>	%
A = Peso de la muestra	=	<u>2,000.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (antes del ensayo)	=	<u>9,385.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (después del ensayo)	=	<u>8,600.99</u>	gr
D = Volumen de muestra suelta	=	<u>784.01</u>	cm ³

$$\text{Rice} = \frac{A}{D} \times 1000 = \frac{2,000.00}{784.01} \times 1000$$

$$\text{Rice} = 2,551 \text{ Kg/m}^3$$



Ing. Christian ~~Torres~~ Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 8



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS EN EL DISTRITO DE SAN CARLOS DE GUAYAS
Localización : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Descrip. del material :
Fecha : 27 de abril de 2021

ENSAYO DE DENSIDAD RICE

% de asfalto	=	<u>6.50</u>	%
A = Peso de la muestra	=	<u>2,000.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (antes del ensayo)	=	<u>9,385.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (después del ensayo)	=	<u>8,591.66</u>	gr
D = Volumen de muestra suelta	=	<u>793.34</u>	cm ³

$$\text{Rice} = \frac{A}{D} \times 1000 = \frac{2,000.00}{793.34} \times 1000$$

Rice = 2,521 Kg/m³



Ing. Christian Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 9



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN REAFRÍSCADO CON INCLUSIÓN DE CULINAS DE DEMARILLO NEGRO Y EL HORMIGÓN ARMADO CONVENCIONAL.
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Descrip. del material :
Fecha : 27 de abril de 2021

ENSAYO DE DENSIDAD RICE

% de asfalto	=	<u>7.00</u>	%
A = Peso de la muestra	=	<u>2,000.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (antes del ensayo)	=	<u>9,380.00</u>	gr
B = Peso recipiente + agua + agregado (después del ensayo)	=	<u>8,580.64</u>	gr
D = Volumen de muestra suelta	=	<u>799.36</u>	cm ³

$$\text{Rice} = \frac{A}{D} \times 1000 = \frac{2,000.00}{799.36} \times 1000$$

Rice = 2,502 Kg/m³



Ing. Christam Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO



**PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA**

Solicitado por : SRITA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ANDRÉS TORRES TUMBACO
 Proyecto : TABLA DE CANTOS - HALLER CONVENIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS ENTRE EL LABORATORIO ASFÁLTICO NACIONAL Y EL LABORATORIO REGIONAL DE GUAYACILLO
 Localización : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
 Fiscalía : PEZUELA ASFÁLTICA
 Descripción : G. específica BULK de agregados para diseño = 2,800 Kg/m3
 Fecha : 27 de abril de 2021
 Temperatura : 149° C
 Peso específico de cemento asfáltico = 1,012 g/cm3
 Filler = 3,14 %
 Corrección Filler/Bedón = 0,89

MATERIAL	RESPIRACION %	PESO AGREGADO (g)			VOLUMEN cm³	GRAVEDAD BULK (Kg/m³)	GRAVEDAD TECNICA (Kg/m³)	GRAVEDAD RIZC (Kg/m³)	VOLUMEN ASPHALTO EFECTIVO cm³	ASPHALTO ABSORVIDO %	VACIOS %	AGREGADOS %	VVVA	% ASPHALTO EFECTIVO	% VÍA	Relación Filler/Bedón = 0,89		FACTOR CORRECCION	RUIDO (dB) 130
		ARE	AGUA	S.S.												DIAL	AVILLO		
ASPHALTO	5,00	1280,0	624,0	1154,0	530,0	2415										316,00	2627	0,84	10
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	35,00	1280,0	666,0	1192,0	533,0	2418										314,00	2590	0,84	10
CISCO - CARPETA LIGERA	45,00	1283,0	663,0	1195,0	532,0	2417										315,00	2598	0,84	9
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	20,00																		
PROMEDIO						2415	2373	2389	11,35	0,24	6,72	81,93	18,07	4,03	62,82				
ASPHALTO	5,50	1213,0	672,0	1178,0	506,0	2437										298,00	2638	0,87	11
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	35,00	1213,0	743,0	1248,0	505,0	2442										299,00	2647	0,87	12
CISCO - CARPETA LIGERA	45,00	1224,0	736,0	1232,0	502,0	2438										298,00	2619	0,87	11
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	20,00																		
PROMEDIO						2439	2352	2364	12,82	0,18	4,08	82,30	17,70	4,53	72,42				
ASPHALTO	6,00	1140,0	675,0	1144,0	466,0	2446										253,00	2468	1,16	13
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	35,00	1245,0	740,0	1245,0	506,0	2465										296,00	2619	0,84	13
CISCO - CARPETA LIGERA	45,00	1280,0	763,0	1282,0	513,0	2476										308,00	2633	0,84	12
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	20,00																		
PROMEDIO						2459	2532	2551	13,85	0,29	3,99	82,35	17,45	5,03	70,40				
ASPHALTO	6,50	1167,0	700,0	1256,0	478,0	2441										262,00	2498	1,11	14
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	35,00	1174,0	755,0	1265,0	482,0	2446										265,00	2635	1,10	13
CISCO - CARPETA LIGERA	45,00	1170,0	740,0	1219,0	479,0	2443										262,00	2498	1,11	14
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	20,00																		
PROMEDIO						2443	2532	2531	15,34	0,14	3,08	81,58	18,42	5,53	83,26				
ASPHALTO	7,00	1223,0	719,0	1171,0	502,0	2436										278,00	2610	1,02	14
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	35,00	1226,0	776,0	1172,0	496,0	2431										273,00	2601	1,04	15
CISCO - CARPETA LIGERA	45,00	1213,0	759,0	1150,0	498,0	2436										274,00	2611	1,03	14
PRUEBA MECANICA DE UN CARPETA DE 10 CM	20,00																		
PROMEDIO						2434	2492	2502	16,45	0,16	2,70	80,85	19,15	6,02	85,01				

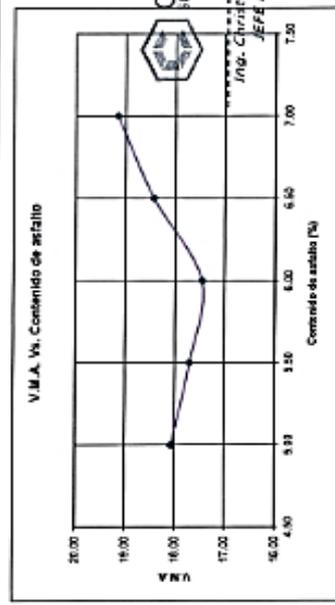
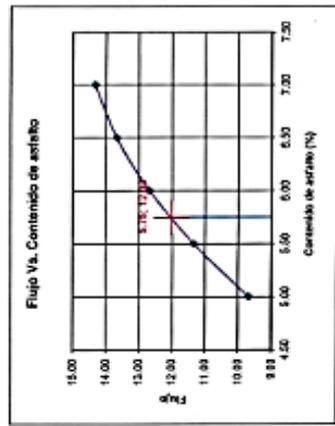
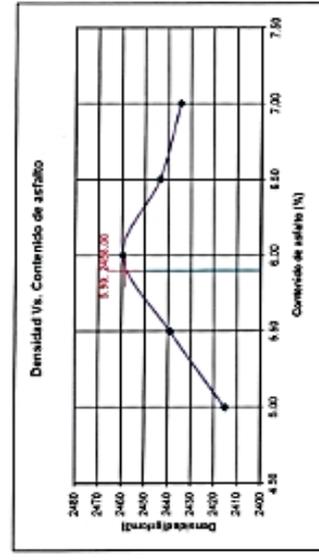
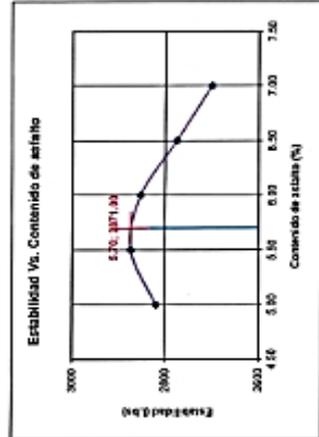
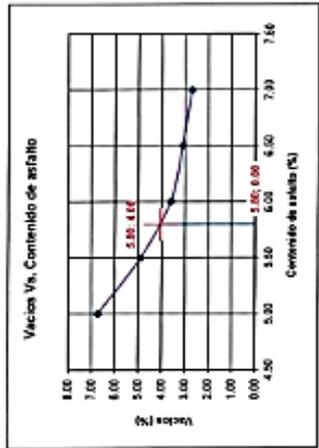
CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.
Ing. Christian Jaramayo Gavilanes
JEFF DE LABORATORIO

Revisión de formato: 01
Fecha: 07/01/18



**PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA**

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRICAM TORRES TUMBACAO
 Proyecto : TERCER GRADO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES RECIPIENTES ENTRE EL MÉTODO AVANZADO Y EL MÉTODO TRADICIONAL.
 Localización : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE QUINUAJUIL
 Fiscaliza :
 Fecha : 27 de abril de 2021
 Temperatura : 14ºp C



CONSTRULADESA
 SUELOS Y HORMIGONES S.A.
 ING. Christian Alfonso GARRIGONEI
 JEFE DE LABORATORIO

Diseño de pavimento 01

Anexo 12



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Proyecto : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COQUELAS DE CIGARRILLO REICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL.
Localización :
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Fecha : 27/abril/2021

DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO

Propiedades	Contenido de asfalto (ver gráficas)	Valor Obtenido (ver gráficas)	Especificaciones MOP-001-F-2002-TOMO II	
a) Estabilidad	5,70 %	2871.0 Lbs.	> 2200 Lbs	Tráfico muy pesado
b) Vacíos mezcla total	5,80 %	4,00 %	3 - 5	
c) Flujo	5,75 %	12.0 pulg/100	8 - 14	
d) Densidad	5,90 %	2458 Kg/m ³		

PROPORCIONAMIENTO ÓPTIMO DE MEZCLA ASFÁLTICA

Agregado	Proporción %	Contenido de asfalto Optimo	Composición de hormigón asfáltico
PIEDRA TRITURADA TM 3/4" - CANTERA LICOSA	35	5,79 %	32,97 %
CISCO - CANTERA LICOSA	45		42,39 %
ARENA CRUBADA (PASANTE DEL TAMIZ 30#) - CANTERA LICOSA	20		18,84 %
			5,790 %
			100,00 %

NOTA :

SE DEBERÁ CUMPLIR CON EL TIPO Y PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS Y ASFALTOS INDICADOS EN ESTE DISEÑO.
 CUALQUIER CAMBIO EN LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA, ESTA DEBERÁ SER REDISEÑADA.



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Ing. Christian Jarama Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO



MARSHALL DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUIMBACO
Obra : LÍNEA DE GRABADO ANALÍTICO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLLAROS DE CASCARILLO RECICLADOS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL.
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización :
Descripción : COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE ASFALTO PARA PLANTA LICOSA: 35% PIEDRA 3/4" - 45% CISCO - 20% ARENA CRIBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8")
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)
NORMA: ASTM D6927

Muestra : 1

Fecha : 05/mayo/2021

Contrato :

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm ³	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m ³)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m ³)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.96 %	1290.0	763.0	1292.0	529.0	2438.6			316.00	3008	2857	0.95	11
2		1229.0	729.0	1230.0	501.0	2453.1			297.00	2828	2884	1.02	12
3		1280.0	761.0	1281.0	520.0	2461.5			310.00	2952	2863	0.97	12
PROMEDIO						2451	2555	4.07			2868		12



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Ing. Christian Japaya Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 14



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

EXTRACCIÓN DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS ENTRE EL HERRIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE CIGARRILLO RECICLADOS Y EL HERRIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL.
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización
Descripción : COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE ASFALTO PARA PLANTA LICOSA: 35% PIEDRA 3/4" - 45% CISCO - 20% ARENA CRIBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8")
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 1

Fecha : 06/mayo/2021

Contrato :

W₁ = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN = 1,000 gr
Peso de filtro N° 1 = _____ (antes de la extracción)
Peso de filtro N° 2 = _____
Peso de filtro N° 3 = _____
E₁ = 14.2

W₂ = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN = 936 gr
Peso de filtro N° 1 = _____
Peso de filtro N° 2 = _____
Peso de filtro N° 3 = _____
E₂ = 15.7

W₃ = E₂ - E₁ = 1.4

W₄ = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) = 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

% ASFALTO = 5.96 %



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

NORMA: ASTM D2172

Ing. Christian Tómpayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Revisión de formato: 01

Anexo 15

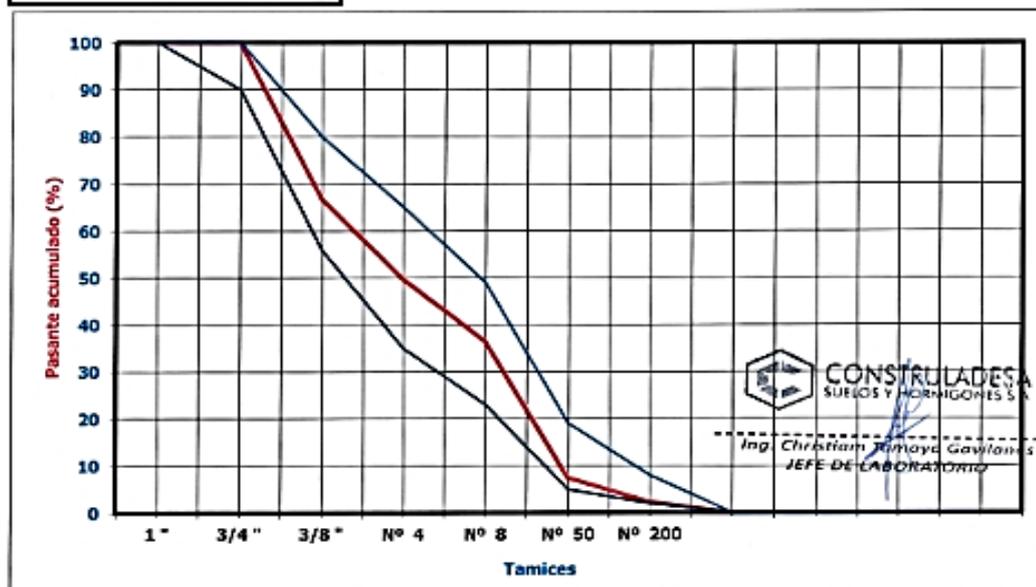


CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGON ASFALTICO TRADICIONAL
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización :
Descripción : COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE ASFALTO PARA PLANTA LICOSA: 35% PIEDRA 3/4" - 45% CISCO - 20% ARENA CRIBADA (PASANTE DEL TAMIZ 3/8")
Fecha : 06/mayo/2021 **Muestra** : 1 **Contrato** :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones
Nº	mm					
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	198.00	21.15	21.15	78.85	
3/8"	9.5	112.00	11.97	33.12	66.88	56 a 80
No. 4	4.75	160.00	17.09	50.21	49.79	35 a 65
No. 8	2.36	124.00	13.25	63.46	36.54	23 a 49
No. 16	1.18	92.00	9.83	73.29	26.71	
No. 30	0.60	102.00	10.90	84.19	15.81	
No. 50	0.30	78.00	8.33	92.52	7.48	5 a 19
No. 100	0.15	32.00	3.42	95.94	4.06	
No. 200	0.075	16.00	1.71	97.65	2.35	2 a 8
FONDO		22.00	2.35	100.00	0.00	
$\Sigma =$		936.00				



Anexo 16



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

MARSHALL DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO **Muestra : 1**
Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLOS RECICLADAS Y EL HORMIGON ASFALTICO TRADICIONAL. **Fecha : 06/mayo/2021**
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL **Contrato :**
Localización
Descripción : MEZCLA ASFALTICA CON INCORPORACION DE 0.25% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL **NORMA: ASTM D6927**
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm³	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m³)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m³)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.50 %	1265.0	740.0	1268.0	528.0	2395.8			355.00	3375	3206	0.95	12
2		1233.0	719.0	1236.0	517.0	2384.9			345.00	3281	3215	0.98	11
3		1250.0	732.0	1254.0	522.0	2394.6			350.00	3328	3195	0.96	12
PROMEDIO						2392	2500	4.32			3205		12



Anexo 17



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

EXTRACCIÓN DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO **Muestra** : 1
Obra : TIPO DE GRABO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECOLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL. **Fecha** : 06/mayo/2021
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL **Contrato** :
Localización
Descripción : MEZCLA ASFÁLTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.25% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

W₁ = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN = 1,000 gr
Peso de filtro N° 1 = _____ (antes de la extracción)
Peso de filtro N° 2 = _____
Peso de filtro N° 3 = _____
E₁ = 14.4

W₂ = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN = 941 gr
Peso de filtro N° 1 = _____
Peso de filtro N° 2 = _____
Peso de filtro N° 3 = _____
E₂ = 15.4

W₃ = E₂ - E₁ = 1

W₄ = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) = $3,000.00 \times 0.001 =$ 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

% ASFALTO = 5.50 %



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

NORMA: ASTM D2172

Ing. Christian Jimayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 18

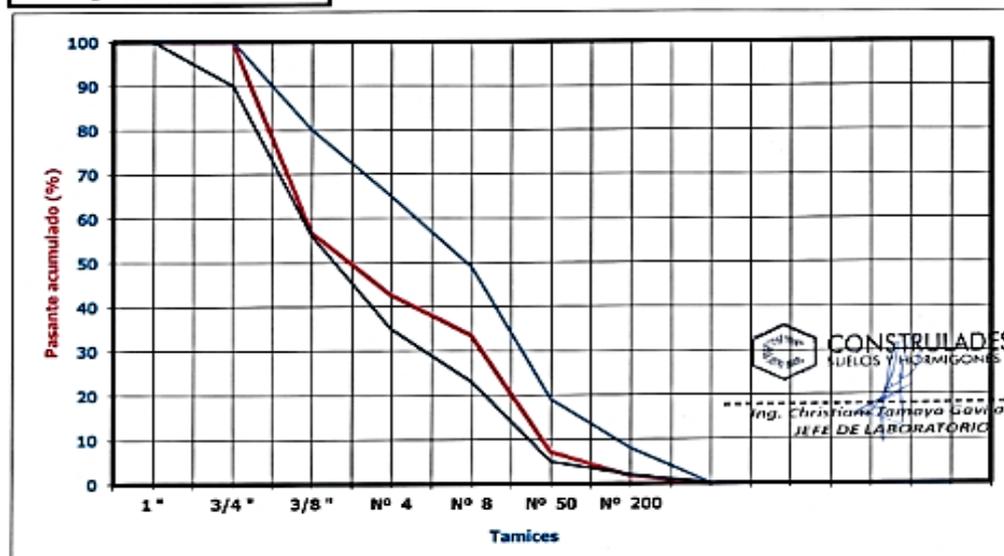


CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
 Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGON ASFALTICO TRADICIONAL
 Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
 Localización :
 Descripción : MEZCLA ASFALTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.25% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
 Fecha : 06/mayo/2021 Muestra : 1 Contrato :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA

						Tamaño máximo 3/4
Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones
Nº	mm					
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	294.00	31.24	31.24	68.76	
3/8"	9.5	113.00	12.01	43.25	56.75	56 a 80
No. 4	4.75	132.00	14.03	57.28	42.72	35 a 65
No. 8	2.36	86.00	9.14	66.42	33.58	23 a 49
No. 16	1.18	70.00	7.44	73.86	26.14	
No. 30	0.60	96.00	10.20	84.06	15.94	
No. 50	0.30	82.00	8.71	92.77	7.23	5 a 19
No. 100	0.15	36.00	3.83	96.60	3.40	
No. 200	0.075	16.00	1.70	98.30	1.70	2 a 8
FONDO		16.00	1.70	100.00	0.00	
$\Sigma =$		941.00				





MARSHALL DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
 Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HERRIZON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLOS RECICLADAS Y EL HERRIZON ASFALTICO TRADICIONAL
 Muestra : 2
 Fecha : 06/mayo/2021
 Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
 Contrato :
 Localización :
 Descripción : MEZCLA ASFALTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.50% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
 Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)
 NORMA: ASTM D6927

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm ³	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m ³)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m ³)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.75 %	1200.0	713.0	1205.0	492.0	2439.0			300.00	2857	3029	1.06	12
2		1228.0	725.0	1233.0	508.0	2417.3			320.00	3045	3045	1.00	14
3		1241.0	733.0	1248.0	515.0	2409.7			324.00	3083	3021	0.98	13
PROMEDIO						2422	2542	4.72			3032		13



Anexo 20



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

EXTRACCIÓN DE ASFALTO

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Obra : TESIS DE GRADO ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECLAMADO Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL.
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización :
Descripción : MEZCLA ASFÁLTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.50% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 2
Fecha : 06/mayo/2021
Contrato :

W₁ = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN = 1,000 gr
Peso de filtro Nº 1 = _____ (antes de la extracción)
Peso de filtro Nº 2 = _____
Peso de filtro Nº 3 = _____
E₁ = 13.7

W₂ = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN = 938 gr
Peso de filtro Nº 1 = _____
Peso de filtro Nº 2 = _____
Peso de filtro Nº 3 = _____
E₂ = 15.2

W₃ = E₂ - E₁ = 1.5

W₄ = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) = 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

% ASFALTO = 5.75 %



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

NORMA: ASTM D2172

Ing. Christian Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 21

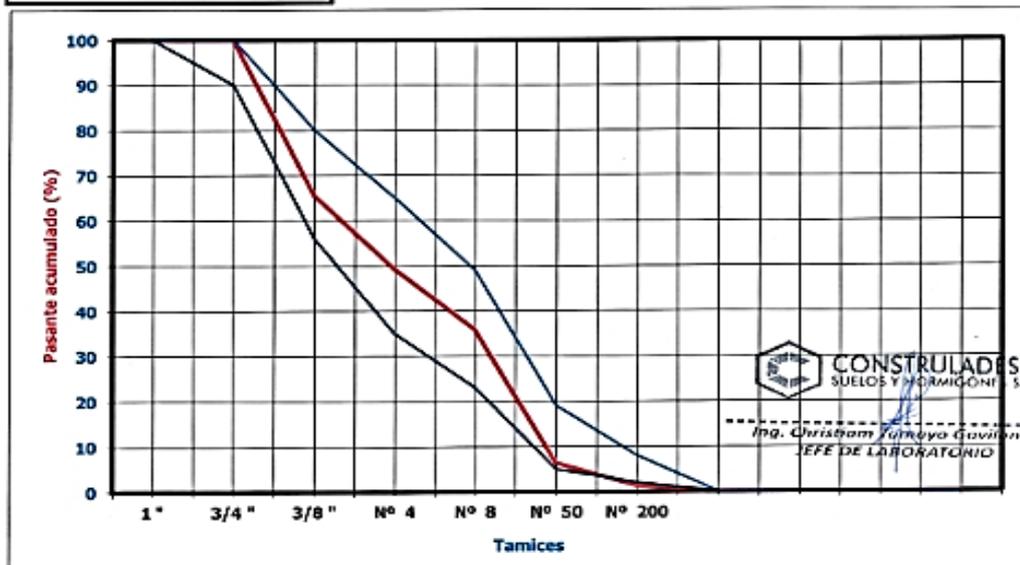


CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
 Obra : TESIS DE GRADO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECLAMADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL.
 Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
 Localización :
 Descripción : MEZCLA ASFÁLTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.50% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
 Fecha : 06/mayo/2021 Muestra : 2 Contrato :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Tamaño máximo 3/4
Nº	mm					Especificaciones
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	180.00	19.19	19.19	80.81	
3/8"	9.5	143.00	15.25	34.43	65.57	56 a 80
No. 4	4.75	152.00	16.20	50.64	49.36	35 a 65
No. 8	2.36	126.00	13.43	64.07	35.93	23 a 49
No. 16	1.18	95.00	10.13	74.20	25.80	
No. 30	0.60	110.00	11.73	85.93	14.07	
No. 50	0.30	72.00	7.68	93.60	6.40	5 a 19
No. 100	0.15	30.00	3.20	96.80	3.20	
No. 200	0.075	18.00	1.92	98.72	1.28	2 a 8
FONDO		12.00	1.28	100.00	0.00	
$\Sigma =$		938.00				





CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

MARSHALL DE ASFALTO

Solicitado por

: SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO

Muestra : 3

Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGON ASFALTICO CON INCLUSION DE COLILLAS DE CIGARRILLOS Y EL HORMIGON ASFALTICO TRADICIONAL.

Fecha : 06/mayo/2021

Fiscaliza

: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

Contrato :

Localización

: MEZCLA ASFALTICA CON INCORPORACION DE 0.75% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL

Temperatura

: 140° C (asfalto puesto en obra)

NORMA: ASTM D6927

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm ³	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m ³)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m ³)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCION LIBRAS	FACTOR CORRECCION	FLUDO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.68 %	1175.0	689.0	1179.0	490.0	2398.0			241.00	2298	2436	1.06	15
2		1167.0	685.0	1174.0	489.0	2386.5			240.00	2290	2450	1.07	13
3		1251.0	730.0	1256.0	526.0	2378.3			270.00	2573	2445	0.95	14
PROMEDIO						2388	2516	5.12			2443		14



Anexo 23



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

EXTRACCIÓN DE ASFALTO

Solicitado por : SR.TA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE CIGARILLO RECICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización
Descripción : MEZCLA ASFALTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.75% DE COLILLAS DE CIGARILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 3

Fecha : 06/mayo/2021

Contrato :

W₁ = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN = 1,000 gr
Peso de filtro Nº 1 = _____ (antes de la extracción)
Peso de filtro Nº 2 = _____
Peso de filtro Nº 3 = _____

E₁ = 14.3

W₂ = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN = 939 gr
Peso de filtro Nº 1 = _____
Peso de filtro Nº 2 = _____
Peso de filtro Nº 3 = _____

E₂ = 15.5

W₃ = E₂ - E₁ = 1.2

W₄ = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) = 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

% ASFALTO = 5.68 %



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

NORMA: ASTM D2172

Ing. Christian Tamayo Gavilanes
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 24



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : SRTA. KAREN BEATRIZ MUÑOZ FIGUEROA / SR. JULIO ADRIAN TORRES TUMBACO
Obra : TESIS DE GRADO: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS ENTRE EL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON INCLUSIÓN DE COLILLAS DE CIGARRILLO RECICLADAS Y EL HORMIGÓN ASFÁLTICO TRADICIONAL
Fiscaliza : UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
Localización :
Descripción : MEZCLA ASFÁLTICA CON INCORPORACIÓN DE 0.75% DE COLILLAS DE CIGARRILLOS CON RESPECTO A LA MASA TOTAL
Fecha : 06/mayo/2021 **Muestra** : 3 **Contrato** :

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Tamaño máximo 3/4"
Nº	mm					Especificaciones
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	188.00	20.02	20.02	79.98	
3/8"	9.5	116.00	12.35	32.37	67.63	56 a 80
No. 4	4.75	142.00	15.12	47.50	52.50	35 a 65
No. 8	2.36	112.00	11.93	59.42	40.58	23 a 49
No. 16	1.18	97.00	10.33	69.76	30.24	
No. 30	0.60	116.00	12.35	82.11	17.89	
No. 50	0.30	92.00	9.80	91.91	8.09	5 a 19
No. 100	0.15	40.00	4.26	96.17	3.83	
No. 200	0.075	22.00	2.34	98.51	1.49	2 a 8
FONDO		14.00	1.49	100.00	0.00	
$\Sigma =$		939.00				

