



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS

AUTOR:

KATHERIN LILIANA AYSABUCHA YUCAILLA

TUTOR:

ING. MG. FAVIO PORTILLA

Ambato – Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Favio Portilla certifico que el presente trabajo bajo el tema: “DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS” es de auditoria de la Srta. Katherin Liliana Aysabucha Yucailla, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, Enero del 2020



Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandun

TUTOR

AUTORÍA

Yo, Katherin Liliana Aysabucha Yucailla con C.I: 1804965521, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el proyecto Experimental con el tema: “DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS”, es de mi completa autoría

Ambato, Enero del 2020



Katherin Liliana Aysabucha Yucailla

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Enero del 2020



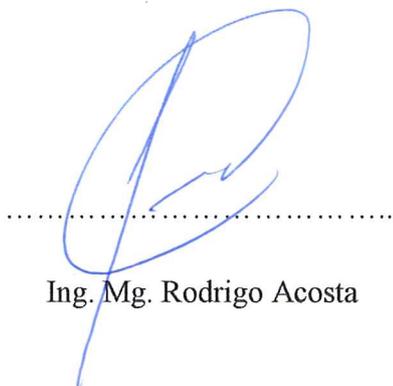
Katherin Liliana Aysabucha Yucailla

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO

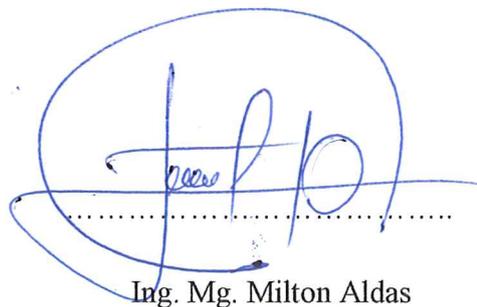
Los miembros del tribunal calificador después de haber revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS”**, de la egresada Katherin Liliana Aysabucha Yucailla, de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, el mismo que cumple con las disposiciones reglamentarias emitidas por el centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero del 2020

Por constancia firman



Ing. Mg. Rodrigo Acosta



Ing. Mg. Milton Aldas

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a Dios y a la Virgen María por derramarme sus bendiciones y fortalezas en cada instante de mi vida.

A mis padres Segundo y Gladys por seguirme apoyando en mis estudios, por apoyarme para que todos mis sueños se hagan realidad y mis metas se cumplan. Por ser un ejemplo de perseverancia para alcanzar mis objetivos.

A mi esposo Edwyn por apóyame con mis estudios, por creer en mí, por acompañarme en los buenos y malos momentos que hemos pasado, por ser un apoyo incondicional en todo momento y por brindarme todo su amor y comprensión.

A mi hija Ayme que es mi mayor bendición ya que llevo a llenarme de alegrías cada instante de mi vida, por ser mi fortaleza y motivo de lucha y perseverancia, para ser una buena persona y por ser mi inspiración para alcanzar todos mis objetivos.

A mi hermana Andrea y mi cuñado Byron por brindarme su apoyo y sus consejos y a mi sobrinito Alexander por ser la alegría de la casa.

A mis abuelitos Luis y Juana que han sido mis segundos padres por su apoyo brindado y por su confianza puesta en mí.

A mis tías Juanita y Verito por apoyarme en los buenos y malos momentos dándome consejos para seguir adelante, y brindándome su ayuda cuando lo necesitaba.

A mis suegros Edguin y Clelia, a mí cuñada Joselyn y a mi sobrino Andy por la confianza brindada que han depositado en mí y por brindarme todo su apoyo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme tantas bendiciones y por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi vida, ya que sin el nada de esto fuese posible.

A la Virgen María por protegerme y no desampararme cada instante de mi vida.

A mis padres, esposo, hija y a toda mi familia por haber sido parte de esta etapa de mi vida y por ser mi apoyo incondicional y darme fuerza para seguir luchando para alcanzar mis sueños y estar conmigo en los momentos más difíciles como también en los momentos más alegres de mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por abrirme sus puertas y permitiré ser parte de esta prestigiosa institución y a la vez formarme como profesional de bien para contribuir con el desarrollo de la sociedad.

A los docentes por impartir sus conocimientos y ser los mejores guías durante toda la carrera.

A mi tutor Ing. Favio Portilla por toda su paciencia, dedicación y tiempo brindados a lo largo de ese proyecto al igual que por sus conocimientos impartidos y por ser un excelente guía.

A los ingenieros de los Laboratorios de Suelos del GAD Municipal de Ambato y a los Ingenieros de los laboratorios de Suelos y Ensayos de la Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica por la ayuda y experiencia brindada al instante de proceder a realizar los ensayos.

A todos mis amigos y compañeros por compartir momentos tan especiales a lo largo de nuestra formación académica.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
RESUMEN EJECUTIVO	1
SUMMARY	2
CAPITULO I. - MARCO TEÓRICO	3
1 TEMA:	3
1.1 ANTECEDENTES DE TRABAJO EXPERIMENTAL.....	3
1.1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.1.2 JUSTIFICACIÓN	5
1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
1.1.3.1 Pavimentos	7
1.1.3.2 Clasificación de Pavimentos	8
1.1.3.2.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos.....	8
1.1.3.2.2 Pavimentos Rígidos.	9
1.1.3.2.4 Pavimento Articulado.....	12

1.1.3.3 Función y Características de Cada Una de las Capas que Conforman la Estructura de los Diferentes Tipos de Pavimento	14
1.1.3.3.1 Subrasante	14
1.1.3.3.2 Subrasante Mejorada	14
1.1.3.3.3 Sub-base	15
1.1.3.3.4 Base.....	16
1.1.3.3.5 Capa de Rodadura.....	19
1.1.3.3.5.1 Cama de Arena de Asiento.....	20
1.1.3.3.5.2 Adoquines	21
1.1.3.3.5.3 Sello de Arena.....	22
1.1.3.4 Bermas	23
1.1.3.5 Asfalto.....	24
1.1.3.5.1 Asfaltos Naturales.....	24
1.1.3.5.2 Cementos Asfálticos.....	25
1.1.3.5.3 Asfaltos Normalizados.....	27
1.1.3.5.4 Asfaltos Modificados.....	27
1.1.3.5.5 Asfaltos Líquidos	28
1.1.3.5.6 Emulsiones Asfálticas	29
1.1.3.6 Mezcla Asfáltica.....	32
1.1.3.6.1 Mezcla Abierta en Frío.....	33
1.1.3.6.2 Mezcla Abierta en Caliente	34
1.1.3.6.3 Mezclas Densas en Frío	35
1.1.3.6.4 Mezcla Densa en Caliente.....	36
1.1.3.6.5 Mezclas Porosas o Drenante.....	37
1.1.3.7 Propiedades de Mezclas Asfálticas	38

1.1.3.8 Características que Debemos Obtener en la Mezcla.....	40
1.1.3.9 Reciclado.....	40
1.1.3.10 Tipos de Reciclados de Pavimentos.....	41
1.1.3.10.1 Fresado en Frío.....	41
1.1.3.10.2 Reciclado en Caliente.....	41
1.1.3.10.3 Reciclado en Caliente in Situ.....	41
1.1.3.10.4 Reciclado en Frío.....	41
1.1.3.10.5 Recuperación Full – Depth.....	42
1.1.3.10.6 Reciclado en Frío de Materiales Tratados.....	42
1.1.3.10.7 Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP).....	42
1.1.3.11 Extracción del Asfalto.....	43
1.1.3.12 Granulometría.....	44
1.1.3.13 Método de Marshall.....	44
1.1.3.14 Ensayo Rice.....	45
1.1.3.15 Gravedad Específica Teórica Máxima y Densidad de Mezclas Asfálticas para Pavimentos.....	46
1.1.3.16 Gravedad Específica.....	47
1.1.3.17 Tráfico.....	47
1.1.3.17.1 Tráfico Promedio Diario Anual.....	48
1.1.3.17.2 Tráfico Futuro.....	50
1.1.3.17.3 Crecimiento Normal del Tráfico Actual.....	50
1.1.3.17.4 Clasificación de Carreteras de Acuerdo al Tráfico.....	51
1.1.3.17.5 Clase de Carretera.....	52
1.1.4 Hipótesis.....	54
1.2 OBJETIVOS.....	54

1.2.1 Objetivo General	54
1.2.2 Objetivos Específicos.....	54
CAPITULO II	55
METODOLOGÍA	55
NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	55
Dato de Campo.....	55
Dato Experimental	55
Datos de Laboratorio.....	55
Datos Analíticos	56
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	56
Población.....	56
Muestra.....	57
2.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....	58
2.1.1 Método de la Extracción del Asfalto.....	58
2.1.2 Ensayo Marshall.....	59
2.1.3 Método Rice	61
2.1.4 Gravedad Específica de Agregados Gruesos (ripio)	63
2.1.5 Gravedad Específica de Agregados Finos (Arena, Agregados Reciclados)	64
2.1.6 Diseño de Adoquines	65
2.2 MÉTODOS	67
2.2.1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	67
2.2.1.1 Obtener el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en caliente para la elaboración de adoquines utilizando agregados reciclados y no reciclados	67
2.2.1.2 Elaborar adoquines de hormigón utilizando agregados reciclados y no reciclados de geometrías convencionales.....	67

2.2.1.3 Determinar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	67
2.2.1.4 Comparar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente tanto para los fabricados utilizando agregados reciclados, agregados no reciclados y adoquines de hormigón simple	67
2.2.1.5 Diseñar la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente.....	68
2.2.1.6 Analizar la diferencia en costos de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple.....	68
2.2.2 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	68
2.2.2.1 Muestreo de agregados de mezclas asfálticas obtenidas mediante un proceso de fresado	68
2.2.2.2 Determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de la extracción del asfalto. Norma AASHTO T 164 - ASTM D 2172.....	69
2.2.2.3 Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma MOP – 001 – F – 2002	72
2.2.2.3.1 Ensayo de Probetas Compactadas	74
2.2.2.3.2 Realización del ensayo Rice para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma I.N.V.E 735 – 07.....	77
2.2.2.3.3 Gravedad específica de agregados gruesos (ripio) INEN 857	78
2.2.2.3.4 Gravedad Específica de Agregados Finos (Arena, Agregados Reciclados) INEN 856	80
2.2.2.4 Elaboración de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados, y adoquines de hormigón.....	81

2.2.2.5 Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	83
2.2.2.6 Comparar la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple Norma NTE INEN 1485.....	83
2.2.2.7 Diseño de la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente.....	84
2.2.2.8 Análisis de costos de pavimentos articulados con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple	84
CAPITULO III	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	85
3.1.1 Obtención de mezclas asfálticas recicladas mediante un proceso de fresado	85
3.1.2 Determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de extracción de asfalto. Norma AASHTO T 164 - ASTM D 2172	86
3.1.3 Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma MOP – 001 – F – 2002	92
Agregados Reciclados	92
Agregados Nuevos	94
3.1.3.1 Realización del ensayo Rice para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma I.N.V.E 735 – 07.....	98
3.1.3.2 Ensayo de gravedad específica del agregado fino y grueso.....	102
3.1.4 Elaboración de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados. MOP – 001 – F – 2002	104

3.1.5 Resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.	106
3.1.6 Comparación de la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple Norma NTE INEN 1485.....	109
3.1.7 Diseño de la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente.....	116
3.1.8 Análisis de costos de la estructura de adoquines con mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple	122
3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	123
CAPITULO IV	124
4.1 CONCLUSIONES	124
4.2 RECOMENDACIONES	125
MATERIALES DE REFERENCIA	126
BIBLIOGRAFÍA	126
Anexos	134
Anexos Tablas	134
Anexos Fotográficos	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible o asfáltico	8
Figura 2. Estructura del Pavimento Rígido.....	9
Figura 3. Componentes de un pavimento rígido	10
Figura 4. Elementos estructurales de un pavimento de adoquín.....	12
Figura 5. Uniformidad de la superficie de la cama de arena de asiento	20
Figura 6. Instalación de adoquines.....	21
Figura 7. Bermas de concreto y asfalto.....	23
Figura 8. Obtención del asfalto en refinería.....	24
Figura 9. Tipos de Asfalto para pavimentación	28
Figura 10. Emulsión con fase discreta o continua	29
Figura 11. Emulsión Aniónicas y Catiónicas.....	31
Figura 12. Planta de fabricación de Mezclas Bituminosas abiertas en frío	33
Figura 13. Mezcla en Caliente	34
Figura 14. Compactación mezcla densa frío	35
Figura 15. Densidad de la mezcla	36
Figura 16. Mezclas Porosas	37
Figura 17. Parámetros de diseño volumétrico.....	46
Figura 18. Calle Dr. Julio Enrique Paredes.....	56
Figura 19. Máquina centrífuga.....	58
Figura 20. Prensa Marshall	59
Figura 21. Recipientes de vacío	61
Figura 22. Recipientes de Gravedad específica de agregados gruesos	63

Figura 23. Recipientes de Gravedad específica de agregados fino	64
Figura 24. Molde de adoquín	65
Figura 25. Proceso de cuarteo	68
Figura 26. Extracción del asfalto	69
Figura 27. Método Marshall	72
Figura 28 . Ensayo Rice	77
Figura 29. Ensayo de Gravedad Específica	80
Figura 30. Moldes diseñados de tol	82
Figura 31. Ensayo a la Resistencia a la compasión	83
Figura 32. Estructura típica de un pavimento de adoquín.....	116
Figura 33. Gráfica para determinar los espesores de las capas de un pavimento articulado.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las sub bases	16
Tabla 2. Límites para la granulometría de sub bases	16
Tabla 3. Clasificación de las sub bases	17
Tabla 4. Límites para la granulometría de Bases Clase 1	18
Tabla 5. Límites para la granulometría de Bases Clase 2	18
Tabla 6. Límites para la granulometría de Bases Clase 3	18
Tabla 7. Límites para la granulometría de Bases Clase 4	19
Tabla 8. Clasificación de tránsito y tipo de adoquín	22
Tabla 9. Características de cemento Asfáltico AC -20	26
Tabla 10. Diferentes tipos de suspensiones.....	30
Tabla 11. Clasificación de Emulsiones Asfálticas	32
Tabla 12. Ensayos del Método Marshall.....	45
Tabla 13. Muestra mínima en gr dependiendo el tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra.....	47
Tabla 14. Tasas de crecimiento de tráfico.....	51
Tabla 15. Clasificación de carretera en función al tráfico proyectado.....	51
Tabla 16. Resumen de pesos y dimensiones de buses y camiones	53
Tabla 17. Criterios de Marshall dependiendo el tipo de tráfico	72
Tabla 18. Coordenadas del lugar que se obtuvo las muestras	85
Tabla 19. Ensayo de Extracción de asfalto	86
Tabla 20. Análisis Granulométrico Muestra #1	88
Tabla 21. Análisis Granulométrico Muestra #2	89

Tabla 22. Análisis Granulométrico Muestra #3	90
Tabla 23. Tabla Método Marshall de agregados reciclados.....	92
Tabla 24. Tabla Marshall de agregados reciclados	94
Tabla 25. Determinación Rice de agregados reciclados	98
Tabla 26. Determinación Rice de agregados nuevos	100
Tabla 27. Gravedad específica del ripio.....	102
Tabla 28. Gravedad específica de arena.....	103
Tabla 29. Resumen de cantidades de agregados reciclados para adoquines con 6.3% de cemento asfáltico.....	104
Tabla 30. Resumen de cantidades de agregados reciclados para adoquines con 6.3% de cemento asfáltico.....	105
Tabla 31. Adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados	106
Tabla 32. Adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados.....	107
Tabla 33. Resistencia a la compresión de adoquines convencionales	108
Tabla 34. Valores de CBR saturado y en equilibrio en función al índice plástico	117
Tabla 35. Relación vc/d.....	119
Tabla 36. Espesores de las Capas del pavimento articulado con mezclas asfálticas en caliente	121
Tabla 37. Presupuesto referencial para un adoquín con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados reciclados	122
Tabla 38. Presupuesto referencial para un adoquín de hormigón simple.....	122

Tabla 39. Factor de Corrección para la estabilidad.....	134
Tabla 40. Densidad del agua Y coeficiente de temperatura K para diferentes temperaturas	137
Tabla 41. Ensayo contenido de asfalto aumentando 0.5% y 1% de AC -20.....	138
Tabla 42. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en ¾”	139
Tabla 43. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en ½”	140
Tabla 44. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en 3/8”	141
Tabla 45. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en No. 4	142
Tabla 46. Granulometrías de Agregados de ½” para .4.5% AC - 20.....	143
Tabla 47. Granulometría de Agregados de ½” para 5% AC - 20.....	144
Tabla 48. Granulometría de Agregados de ½” para .5.5% AC - 20.....	145
Tabla 49. Granulometría de Agregados de ½” para .6% AC - 20.....	146
Tabla 50. Granulometría de Agregados de ½” para .6.5% AC - 20.....	147
Tabla 51. Granulometría de Agregados de ½” para .7% AC - 20.....	148
Tabla 52. Granulometría de Agregados de ½” para .7% AC - 20.....	149
Tabla 53. Granulometría de Agregados de ½” para adoquines de mezclas asfálticas en caliente con 6.2% AC-20 y de espesor de 7cm.....	150
Tabla 54. Granulometría de Agregados de ½” para adoquines de mezclas asfálticas en caliente con 6.2% AC-20 y de espesor de 6cm.....	151
Tabla 55. Corrección por húmeda para la dosificación obtenida por el método de la densidad óptima.	152
Tabla 56. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados	153

Tabla 57. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados	154
Tabla 58. Análisis de precios unitarios del replanteo y Nivelación	155
Tabla 59. Análisis de precios unitarios de la subrasante conformación y compactación con equipo pesado	156
Tabla 60. Análisis de precios unitarios de la sub-base conformación y compactación con equipo pesado (incluye material)	157
Tabla 61. Precios unitario de bermas de hormigón simple de 15*30cm $f'c=180\text{kg/cm}^2$	158
Tabla 62. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados (incluida cama de arena de espesor 4 cm y empotrado con cemento y arena fina)	159
Tabla 63. Análisis de precios unitarios del adoquín de hormigón (incluida cama de arena de espesor 4 cm y empotrado con cemento y arena fina).....	160

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Método Marshall con agregados reciclados.....	93
Gráfica 2. Método Marshall con agregados no reciclados.....	95
Gráfica 3. Resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados	109
Gráfica 4. Resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados	110
Gráfica 5. Comparación de la resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines convencionales.....	111
Gráfica 6. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 8 cm.....	112
Gráfica 7. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 7 cm.....	113
Gráfica 8. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 6 cm.....	114

TEMA: DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS

AUTOR: Katherin Liliana Aysabucha Yucailla

TUTOR: Ing. Mg. Favio Portilla.

RESUMEN EJECUTIVO

Para realizar los adoquines con mezclas asfálticas en caliente con agregados reciclados se tomó las muestras de agregados de la calle Dr. Julio Enrique Paredes (Sector Socavón) las cuales fueron obtenidas mediante un proceso de fresado, posteriormente se realizó un proceso de cuarteo para realizar los ensayos.

Se determinó el porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de extracción de asfalto en el cual se determinó un porcentaje de 5.8% de cemento asfáltico, después se realizó un análisis granulométrico para determinar el tamaño de partículas, llegando a tener una granulometría de tamaño máximo de media pulgada.

Para realizar los adoquines con agregados no reciclados se adquirió agregados triturados de la Mina los Pinos, y se realizó con una granulometría de tamaño máximo de media pulgada. Se realizó el ensayo Marshall para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico que necesitara nuestras mezclas en caliente y de esta manera se procedió a fabricar adoquines de 8, 7 y 6 cm. Los adoquines con mezclas asfálticas recicladas fueron ensayados a los 2 días de haberlos elaborado, y los adoquines de hormigón fueron ensayados a los 28 días para que alcance a su máxima resistencia.

Se diseñó un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente con agregados reciclados, al conocer los valores de los espesores de cada capa que conforma un pavimento articulado se realizó el análisis de costos de pavimentos articulados con adoquines de mezclas asfálticas en caliente el cual se notó un valor bajo con respecto a los adoquines de hormigón simple.

SUMMARY

To make pavers with hot asphalt mixtures with recycled aggregates, samples of aggregates from Dr. Julio Enrique Paredes Street were taken, which were obtained through a milling process, and then a cracking process was carried out to perform the tests.

The percentage of residual asphalt of the recycled aggregates was determined by the asphalt extraction test in which a percentage of 5.8% of asphalt cement was determined, then a granulometric analysis was performed to determine the particle size, reaching a particle size. Maximum size of half an inch.

In order to make the cobblestones with unrecycled aggregates, crushed aggregates of the Los Pinos Mine were acquired, and it was carried out with a granulometry of maximum size of half an inch. The Marshall test was carried out to determine the optimum percentage of asphalt cement needed by our hot mixes and in this way we proceeded to manufacture pavers of 8, 7 and 6 cm. Cobblestones with recycled asphalt mixtures were tested 2 days after they were made, and concrete pavers were tested after 28 days to reach maximum strength.

An articulated pavement was designed with pavers of hot asphalt mixtures with recycled aggregates, knowing the values of the thicknesses of each layer that forms an articulated pavement the cost analysis of articulated pavements with pavers of hot asphalt mixtures was performed, which He noticed a low value with respect to simple concrete pavers.

CAPITULO I. - MARCO TEÓRICO

1 TEMA:

“DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS”.

1.1 ANTECEDENTES DE TRABAJO EXPERIMENTAL

1.1.1 ANTECEDENTES

Históricamente los adoquines de concreto descienden de las piezas de pavimento usados por las primeras civilizaciones humanas. A partir del imperio Romano, es cuando con técnica moderna pavimentaban carreteras y calles, usando capas de suelo mejorado con puzolana, cubiertas con lajas o piedras planas a manera de burdo adoquín o loseta de pavimento. A principios de este siglo con la aparición de los vehículos se desarrolló una tecnología para el concreto y las mezclas asfálticas que en el campo de los pavimentos desplazo al adoquín de construcción artesanal. [1]

El asfalto es el material más versátil y universal de cuantos se tiene al alcance de la tecnología de los pavimentos flexibles. El asfalto es de gran interés para el ingeniero ya que es un material adhesivo impermeable y durable. [2]

El asfalto es uno de los minerales más antiguos que se conoce, tanto el hombre neolítico como del paleolítico empleo betunes en la construcción. Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en el valle del Éufrates de Mesopotamia (actualmente Irak) entre los años 3200 a 540 A.C como un material cementante para la construcción de mamposterías y de caminos. [2]

Guio. E, Sánchez. H, (2010). Llegan a la conclusión que la mezcla de agregados con el asfalto reciclado no es uniforme ya que los agregados mantienen una temperatura ambiente y los asfaltos reciclados deben ser calentados a temperatura óptima (140°C) para que se mezclen con facilidad. [3]

Al producirse la mezcla el asfalto debe ser combinado rápidamente porque al enfriarse se solidifica y no se adhiere bien con el agregado, formando una pasta. La mezcla de agregados con el asfalto reciclado no se puede hacer en frío ya que se tendrían que fraccionar o romper, dañando así su granulometría y no se conservarían sus especificaciones naturales. Los ensayos de CBR se hicieron sumergidos para evaluar los materiales usados en este trabajo en un ambiente de máxima severidad. [3]

Al verificar las granulometrías de las tres muestras de asfalto reciclado se nota que el contenido de grava es muy diverso ya que estos asfaltos han sido modificados por los repetitivos reparcheos que se producen en las vías. [3]

Bahamondes. R, (2013). La mezcla reciclada cuesta un 14% menos que la mezcla tradicional a costo directo. En el porcentaje óptimo de esta mezcla el peso unitario es similar, el porcentaje de vacíos es mayor y la estabilidad es 0.76 veces menor que el de la mezcla convencional. Las mezclas asfálticas modificadas con materiales reciclados y aditivos químicos presentan igual comportamiento que las convencionales, especialmente en rigidez, resistencia a la deformación y peso unitario. [4]

Según Morales. J, Suaste. D, Ávila. A, (2017). El descubrimiento de mezclas propuestas sin duda abren grandes panoramas para contribuir a la fabricación de nuevos materiales de construcción hechos de materiales reciclados Los adoquines realizados con ayuda de la herramienta para fabricación de adoquines podrían emplearse en parques áreas recreativas, etc. [5]

Armijos. V, (2011). Obtuvo bloques asfálticos con incorporación del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) de manera no tradicional a través de la construcción de un tramo de prueba de un pavimento flexible y posterior cortado de su capa de rodadura. Este método es viable, pero debe ser ajustado para garantizar no solo la producción en masa de los bloques sino también con las tolerancias de sus dimensiones según sea el requerimiento del diseñador o las condiciones específicas de construcción (buenas condiciones de prefabricación). Teniendo en cuenta la capacidad de producción de la

planta de mezclas asfálticas utilizada, el contenido máximo de incorporación (RAP) fue del 25%. [6]

Marín. C, (2015). Propone dos alternativas de diseño. 1) la construcción de un pavimento articulado compuesto por un suelo de sub rasante con CBR no menor al 11 % una capa de sub-base con 15 cm de espesor y con CBR 40 % mínimo. Una capa de base de 15 cm de espesor con un CBR 80% mínimo y finalmente una capa de bloques asfálticos de 5 cm de espesor con una sección de 15x25 cm y apoyados sobre un colchón de arena de 1 cm de espesor. 2) construcción de un pavimento articulado compuesto por un suelo de subrasante con CBR menor a 11% una capa de base con 30 cm de espesor y con CBR 80% mínimo- y finalmente una capa de bloques asfálticos de 5 cm de espesor con una sección de 15*25 cm y apoyados sobre un colchón de arena de 1 cm de espesor aproximado. [7]

Los bloques asfálticos de 25x15x5 cm fabricados con mezcla de asfalto en caliente y emulsión asfáltica, presenta similares propiedades de resistencia a la compresión. Respecto de la resistencia de flexión, los bloques fabricados con emulsión asfáltica presentan menores valores de resistencia frente a bloques fabricados con mezclas convencionales de asfalto caliente debido a que este tipo de mezcla con presencia de materiales cementante como la ceniza FBC (Fluidized Bed Combustion), crea un tipo de mezclas más rígido y más frágil. Respecto a la resistencia al desgaste superficial, existe un mayor valor de desgasten bloques de emulsión asfáltica frente a bloques de asfalto en caliente, debido a la presencia de mayor cantidad de finos dentro de la misma, lo que provoca una menor adherencia entre el material aglomerante y agregados. [7]

1.1.2 JUSTIFICACIÓN

La reutilización de materiales en el ámbito vial es importante en la industria del asfalto. Las razones de reciclar se deben a su menor costo, mayor disponibilidad, razones medioambientales, disposición de desechos, reducción y optimización de recursos para las administraciones de carreteras. [8]

Uno de los principales materiales reciclados para la construcción vial son los agregados asfálticos que a su vez se pueden reciclar mediante el método de reciclado en frío o caliente. Al reciclar el material ayudamos a contribuir con el desarrollo económico mediante la comercialización de materiales reciclables dentro del área constructiva. [9]

Un pavimento articulado generalmente está compuesto de suelo de subrasante, sub-base granular, base granular, colchón de arena, pavimento de bloques de concreto y borde de confinamiento. El diseño y construcción del pavimento articulado depende del tipo de clima, disponibilidad de materiales, condiciones de suelo y cargas de tránsito vehicular. [4]

Para diseñar pavimentos articulados con bloques asfálticos Marín (2015) asumió que su comportamiento estructural se asemeja al de un pavimento flexible tradicional en donde los esfuerzos ocasionales por la imposición de la carga del tránsito se disipan a través de la profundidad de las capas y responden de manera elástica. [6]

Al considerar la forma, tamaño y espesor de los elementos de bloques de asfalto es importante tomar en cuenta que el pavimento articulado para algunas condiciones de carga estará expuesto a esfuerzos de compresión, siendo importante la determinación de la resistencia a la compresión de estos adoquines. Según Armijos (2011) la resistencia a compresión de un adoquín con mezcla asfáltica en caliente es más alta que un adoquín con mezcla asfáltica en frío. [5]

Por esta razón el propósito de este trabajo experimental es diseñar adoquines de hormigón asfáltico en caliente reutilizando agregados obtenidos mediante un proceso de fresado de carpeta asfáltica de la calle Dr. Julio Enrique Paredes de la ciudad de Ambato Provincia de Tungurahua. Dichos adoquines serán fabricados utilizando agregados reciclados y no reciclados para obtener su resistencia a la compresión y compararlas con los adoquines convencionales de hormigón simple.

1.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.3.1 Pavimentos

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

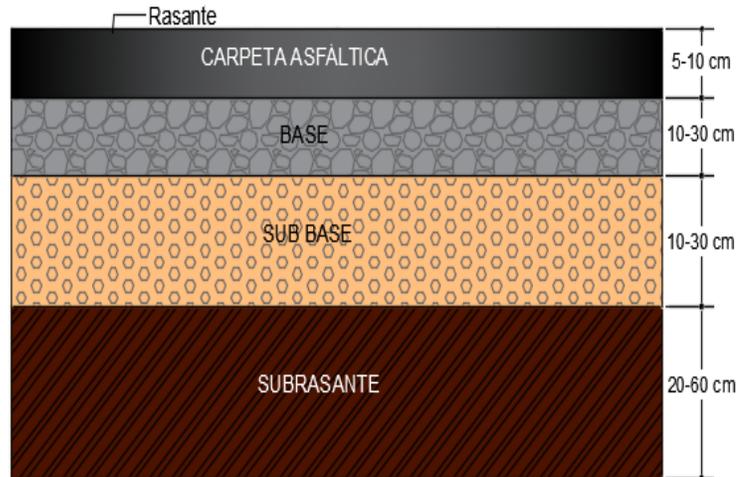
- Con seguridad.
- Con comodidad.
- Con el costo óptimo de operación.
- Superficie uniforme.
- Superficie impermeable.
- Color y textura adecuados.
- Resistencia a la repetición de cargas.
- Resistencia a la acción del medio ambiente.
- Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos.
- mayores a su resistencia.

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación. [10]

1.1.3.2 Clasificación de Pavimentos

1.1.3.2.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible o asfáltico



Fuente: Elaboración Propia

En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. [10]

Las estructuras de pavimento del tipo flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, sub-base, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada o material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante. [11]

Los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de cada una de las capas de la estructura de tal forma que, al llegar a la subrasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone debe ser capaz de resistir dicho esfuerzo sin generar deformaciones que permitan el deterioro funcional o estructural de la vía. Adicionalmente, cada una de las capas de la estructura debe resistir la influencia del medio ambiente. La capa asfáltica en un pavimento flexible está conformada por la carpeta de rodadura, la base intermedia y la base asfáltica; sin embargo, esta capa puede

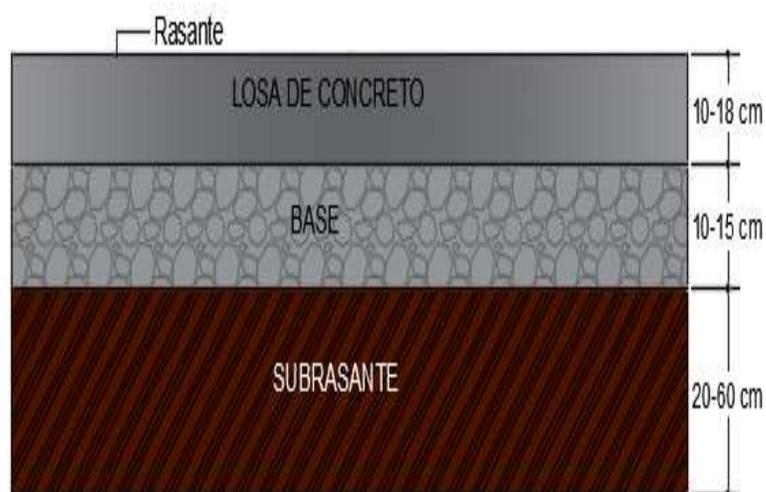
estar constituida únicamente por la capa de rodadura cuando los niveles de tránsito son bajos. [11]

Las principales funciones de la capa asfáltica son las siguientes:

- **Estructural:** Esta capa debe estar diseñada y construida de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanentes inducidas por las cargas cíclicas vehiculares que se repiten en el tiempo. Adicionalmente, debe resistir los efectos del clima. [11]
- **Funcional.** Esta capa recibe de manera directa las cargas que circulan sobre la superficie del pavimento; por lo tanto, debe estar diseñada y construida de tal manera que permita la circulación cómoda y segura durante su vida útil (serviciabilidad). [11]
- **Impermeabilización:** Esta capa impide la penetración directa del agua a las capas subyacentes, restringiendo la pérdida de resistencia al corte que pueden experimentar las capas granulares de base y sub-base, así como la subrasante cuando se incrementa el grado de saturación de los materiales que la conforman. [11]

1.1.3.2.2 Pavimentos Rígidos.

Figura 2. Estructura del Pavimento Rígido



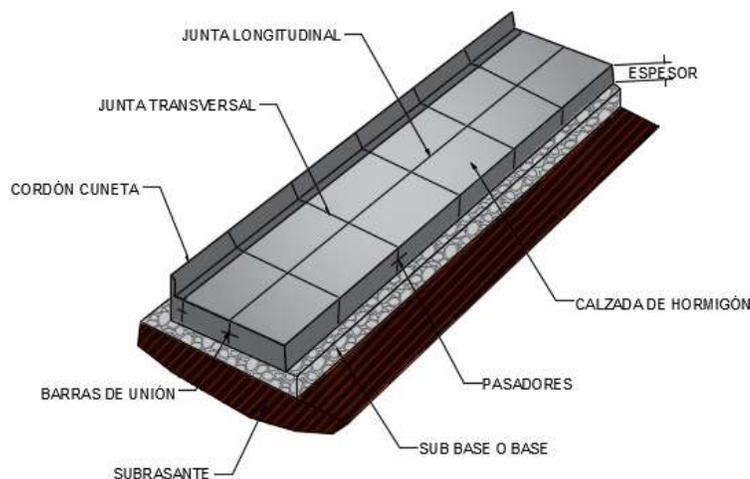
Fuente: Elaboración Propia

Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto. [10]

Están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. [12]

Debido al valor del módulo elástico elevado del concreto, los esfuerzos inducidos por el tráfico son esencialmente atenuados en flexión por la losa de concreto y los esfuerzos de compresión se distribuyen en un área amplia y se transmiten al suelo en magnitudes muy pequeñas. [11]

Figura 3. Componentes de un pavimento rígido



Funciones de las Capas de un Pavimento Rígido

La sub base

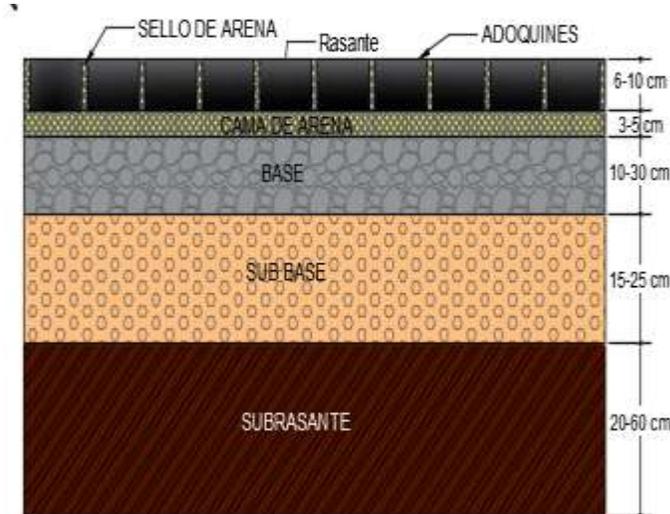
- La función es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. El bombeo es la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. [12]
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento. [12]
- Facilitar los trabajos de pavimentación. [12]
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento. [12]

Losa de Concreto

- Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. [12]

1.1.3.2.4 Pavimento Articulado

Figura 4. Elementos estructurales de un pavimento de adoquín



Fuente: Elaboración Propia

Capa de rodamiento conformada por elementos uniformes compactados de concreto, denominados adoquines, que se colocan ensamblados y que, debido a su entrelazado y a la conformación de sus caras laterales, permiten una transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacente, trabajando sólidamente y sin posibilidad de desmontaje individual. [13]

La estructura en adoquines se conforma superficialmente de elementos individuales rígidos prefabricados, los cuales se unen entre sí por un material sellante. Para retener los adoquines y sello, se dispone de una capa de arena de 3 a 5 cm de espesor compacto. La plataforma de la capa de arena y adoquines puede ser las mismas de las capas asfálticas en estructuras flexibles semirrígidas. [11]

Los adoquines, como prácticamente todos los pavimentos, son estructuras compuestas de varias capas de diferentes materiales que se construyen sobre el terreno natural. Los materiales de cada capa se seleccionan generalmente considerando su disponibilidad y costo. [13]

Los adoquines de concreto, debe considerar dos aspectos fundamentales:

- **Diseño geométrico de la vía.** Que determina los niveles y perfiles, los sistemas y las estructuras de drenaje, el confinamiento, el patrón de colocación de los adoquines y demás detalles constructivos. [13]
- **Diseño de la estructura del pavimento.** Que se define con base en las características del tránsito esperado durante la vida útil del pavimento y de la subrasante que lo soporta. Define el espesor de los adoquines, y el espesor de las capas de la estructura del pavimento y de los materiales que los constituyen. [13]

El diseño de cada una de las capas del pavimento con adoquines debe ir relacionado directamente con el tipo de suelo, la vida útil del diseño, tránsito y los materiales constructivos. [13]

El espesor de cada capa del pavimento depende del tránsito que soportará el pavimento durante el período de diseño, de la capacidad soporte del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas; que deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito durante un tiempo determinado sin deformarse ni deteriorarse. Aunque no todos estos elementos deben estar presentes en un pavimento de adoquín, ya que esto depende del diseño, a continuación, se detalla la estructura típica. [13]

- Subrasante y Subrasante mejorada.
- Sub-base y Base.
- Capa de rodadura, que incluye:
 - a) Cama de arena de asiento.
 - b) Adoquines de concreto.
 - c) Sello de arena.

1.1.3.3 Función y Características de Cada Una de las Capas que Conforman la Estructura de los Diferentes Tipos de Pavimento

1.1.3.3.1 Subrasante

Es el fundamento del pavimento y soporta las cargas del tránsito que la estructura transmite. [13]

Este suelo de soporte debe tener dos condiciones básicas que son:

- El valor de soporte debe ser alto, para que las capas del pavimento tengan un menor espesor y el costo sea menor.
- Mantener un movimiento diferencial vertical mínimo, para disminuir las ondulaciones en la superficie y el confort sea el óptimo. [14]

1.1.3.3.2 Subrasante Mejorada

Capa colocada entre la sub-base y la subrasante que funciona como capa estructural y como plataforma de trabajo para facilitar la construcción de la sub-base, especialmente sobre subrasante de baja capacidad soporte. [13]

Cuando así se establezca en el proyecto, o lo determine el Fiscalizador, la capa superior del camino, es decir, hasta nivel de subrasante, ya sea en corte o terraplén, se formará con suelo seleccionado, estabilización con cal; estabilización con material pétreo, membranas sintéticas, empalizada, o mezcla de materiales previamente seleccionados. [15]

El suelo seleccionado se obtendrá de la excavación para la plataforma del camino, de excavación de préstamo, o de cualquier otra excavación. [15]

Deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100

mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11. [15]

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. Material de tamaño mayor al máximo especificado, si se presenta, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra. [15]

1.1.3.3.3 Sub-base

Capa estructural localizada directamente bajo la base. Tanto la sub-base como la base le otorgan capacidad estructural al pavimento. [13]

La función de esta capa es:

- Absorber las cargas de tráfico, sin sufrir deformaciones permanentes.
- Funcionar como drenaje del agua y evitar que el agua suba por capilaridad.
- Los materiales que conforman esta capa son más fáciles de obtener y de menor costo, disminuyendo de esta manera los costos de construcción.
- Funciona como superficie de rodadura temporal.
- Minimizar los efectos del congelamiento.
- Servir de base para la siguiente capa y como pista durante la construcción. [14]

Las sub bases de agregados se clasifican de acuerdo a los materiales a emplearse, los agregados que se empleen deben tener un coeficiente de desgaste máximo de 50% de acuerdo con el ensayo de abrasión de los ángeles y la porción que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%. [15]

Tabla 1. Clasificación de las sub bases

Clases de Sub-bases	
Clase 1:	Son sub-bases construidas por agregados constituidos por trituración de roca o gravas y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos, Por lo menos el 30% del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración.
Clase 2:	Son sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos, Por lo menos el 30% del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración.
Clase 3:	Son sub-bases construidas con agregados naturales y procesados, que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos.

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Quito, 2002.

Tabla 2. Límites para la granulometría de sub bases

TAMIZ	Porcentaje en Peso que Pasa A través de los Tamices de Malla Cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76,2 mm)	---	---	100
2" (50,4 mm)	---	100	---
1 1/2" (38,1 mm)	100	70 – 100	---
N° 4 (4,76 mm)	30 - 70	30 – 70	30 – 70
N° 40 (0,425 mm)	10 - 35	15 – 40	---
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15	0 – 20	0 - 20

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Quito, 2002.

1.1.3.3.4 Base

Es la principal capa estructural del pavimento, colocada directamente bajo la cama de arena de asiento. Tanto la base como la sub-base le otorgan capacidad estructural al pavimento. [13]

- Deberá absorber la mayor parte los esfuerzos que produce el constante paso de los vehículos sobre la capa de rodadura y transmitirlos a la sub-base o subrasante y minimizar las formaciones o desplazamientos excesivos en las capas que conforman la estructura del pavimento.

- Servir como elemento de drenaje de las aguas, que por capilaridad llegaron a la sub-base o la sub-rasante impidiendo que lleguen a la capa de rodadura.
- Minimizar los peligrosos efectos del congelamiento.
- Servir como capa de rodadura hasta que se coloque la carpeta. [14]

Las bases de agregados podrán ser de las clases indicadas a continuación, de acuerdo con el tipo de materiales por emplearse. La clase y tipo de base que deba utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales. En todo caso, el límite líquido de la fracción que pase el tamiz N° 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%. [15]

Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Tabla 3. Clasificación de las sub bases

Clases de Bases	
Clase 1:	Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos.
Clase 2:	Son bases constituidas por fragmento de roca o grava triturada cuya fracción de agregado grueso será triturado al menos el 50% en peso.
Clase 3:	Son bases constituidas por fragmento de roca o grava triturada cuya fracción de agregado grueso será triturado al menos el 25% en peso.
Clase 4:	Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribados de piedras fragmentadas naturalmente o de grava.

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Quito, 2002.

Tabla 4. Límites para la granulometría de Bases Clase 1

TAMIZ	Porcentaje en Peso que Pasa A través de los Tamices de Malla Cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50,8 mm)	100	----
1 1/2" (38,1 mm)	70 – 100	100
1" (25,4 mm)	55 – 85	70 – 100
3/4" (19,0 mm)	50 – 80	60 – 90
3/8" (9,5 mm)	35 – 60	45 – 75
N° 4 (4,76 mm)	25 – 50	30 – 60
N° 10 (2,00 mm)	20 – 40	20 – 50
N° 40 (0,425 mm)	10 – 25	10 – 25
N° 200 (0,075 mm)	2 – 12	2 – 12

Fuente: MOP-001-F-2002, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, Quito, 2002.

Tabla 5. Límites para la granulometría de Bases Clase 2

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
	Tipo B
1" (25,4 mm)	100
3/4" (19,0 mm)	70 – 100
3/8" (9,5 mm)	50 – 80
N° 4 (4,76 mm)	35 – 65
N° 10 (2,00 mm)	25 – 50
N° 40 (0,425 mm)	15 – 30
N° 200 (0,075 mm)	3 – 15

Fuente: MOP-001-F-2002, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, Quito, 2002.

Tabla 6. Límites para la granulometría de Bases Clase 3

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
	Tipo B
3/4" (19,0 mm)	100
N° 4 (4,76 mm)	45 – 80
N° 10 (2,00 mm)	30 – 60
N° 40 (0,425 mm)	20 – 35
N° 200 (0,075 mm)	3 – 15

Fuente: MOP-001-F-2002, Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, Quito, 2002.

Tabla 7. Límites para la granulometría de Bases Clase 4

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
	Tipo B
2" (50,8 mm)	100
1" (25,4 mm)	60 - 90
N° 4 (4,76 mm)	20 - 50
N° 200 (0,075 mm)	0- 15

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Quito, 2002.

1.1.3.3.5 Capa de Rodadura

Capa superior de la calzada, de material especificado, designada para dar comodidad al tránsito. Debe tener características antideslizantes, ser impermeable y resistir la abrasión que produce el tráfico y los efectos desintegrantes del clima. A veces se la llama "Capa de Desgaste". [15]

En los pavimentos articulados la capa de rodadura está comprendida por: capa de arena e asiento, adoquines y sello de arena. [13]

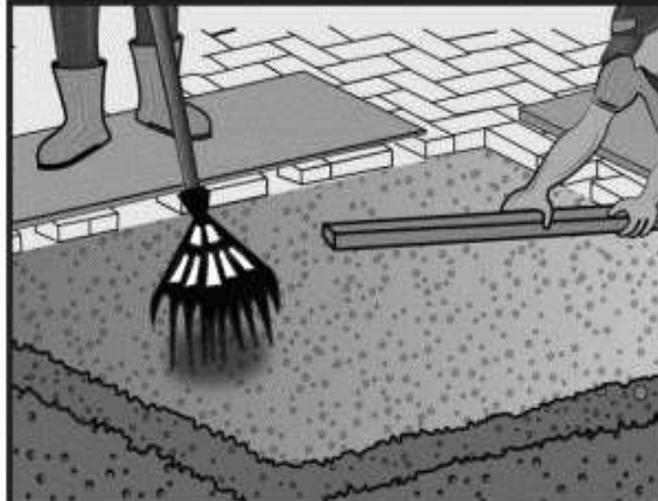
Por su parte el diseño de los pavimentos a base de adoquines de concreto, debe considerar dos aspectos fundamentales:

- Diseño geométrico de la vía. Que determina los niveles y perfiles, los sistemas y las estructuras de drenaje, el confinamiento, el patrón de colocación de los adoquines y demás detalles constructivos. [13]
- Diseño de la estructura del pavimento. Que se define con base en las características del tránsito esperado durante la vida útil del pavimento y de la subrasante que lo soporta. Define el espesor de los adoquines, y el espesor de las capas de la estructura del pavimento y de los materiales que los constituyen. [13]

El diseño de cada una de las capas del pavimento con adoquines debe ir relacionado directamente con el tipo de suelo, la vida útil del diseño, tránsito y los materiales constructivos. [13]

1.1.3.3.5.1 Cama de Arena de Asiento

Figura 5.Uniformidad de la superficie de la cama de arena de asiento



Fuente: Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala , «Guía de instalación de adoquines de concreto,», 2014

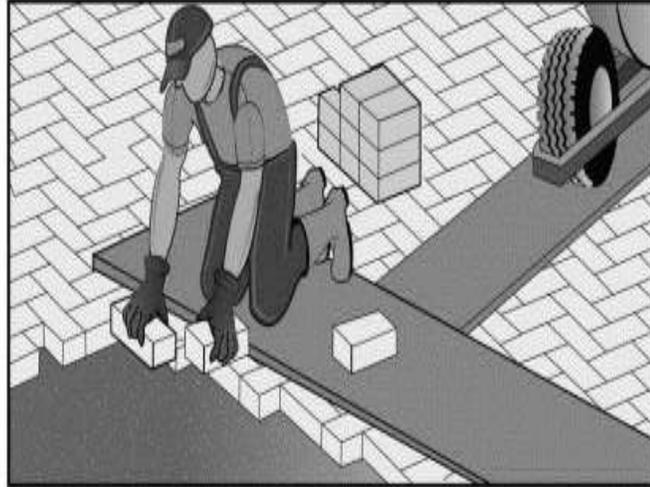
Es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos. [13]

La cama de arena tiene tres funciones:

- Como filtro para el agua que logre penetrar por las juntas, como capa de soporte para los adoquines y como amarre entre adoquines cuando la arena penetra por las juntas. [13]
- Forma parte de la capa de rodadura de un pavimento de adoquín. [13]
- La cama de arena que se coloca directamente sobre la base debe cumplir con los requisitos granulométricos y no poseer más de 3% en peso de limos y arcillas. [13]

1.1.3.3.5.2 Adoquines

Figura 6. Instalación de adoquines



Fuente: Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala , «Guía de instalación de adoquines de concreto,», 2014

Unidad de concreto premezclado y vibro comprimido de forma prismática, cuyo diseño permite la colocación de piezas en forma continua y simétrica para formar pavimentos o carpetas de rodamiento, como son calles y avenidas, plazas y andadores, cocheras, etc. El material más utilizado para su construcción ha sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento, sus dimensiones suelen ser de 20 cm de largo por 15 cm de ancho, lo cual facilita la manipulación con una sola mano. [16]

Elemento compacto de concreto prefabricado con la forma de prisma recta cuyas bases pueden ser polígonas, que permiten conformar superficies completas. [13]

Deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas de tránsito y en especial el desgaste producido por este. [13]

Clasificación de Adoquines

- **TIPO A.** Adoquines dentados que se unen entre sí por los cuatro lados pueden colocarse en esterilla y por su geometría plana al unirse resistencia la expansión de las juntas paralelamente, tanto en los ejes longitudinales como en los transversales de las unidades. [17]

- **TIPO B.** Adoquines dentados que se unen con el otro solamente en dos de sus lados, que no pueden colocarse en esterilla y que por su geometría plana al unirse resistan la expansión de las juntas paralelamente solo en los ejes longitudinales de los adoquines depende de su precisión en su colocación para que se unan con las otras caras. [17]
- **TIPO C.** Adoquines rectangulares de perfil sencillo que no se unen y que dependen de su precisión dimensional y de la precisión en su colocación para desarrollar el punteo. [17]

Tabla 8. Clasificación de tránsito y tipo de adoquín

Tipo de uso	No. De vehículos por día mayores de 3T brutas	Equivalente total de repeticiones de eje estándar después de 20 años de servicio	Forma recomendada de adoquín	Resistencia característica (MPa) compresión a los 28 días
Peatonal	0	0	A,B,C	20
Estacionamiento y calles residenciales	0 - 150	$0 - 4.5 \times 10^5$	A,B,C	30
Caminos secundarios y calles principales	150 - 1500	$4.5 \times 10^5 - 4.5 \times 10^6$	A	40
Nota: 1 MPa = 10 kg/cm ² aproximadamente				

Fuente: NTE INEN 1488, *Adoquines Requisitos*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.

1.1.3.3.5.3 Sello de Arena

Está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines: sirve como ello de las mismas y contribuye al funcionamiento como un todo, de los elementos de la capa de rodadura. [16]

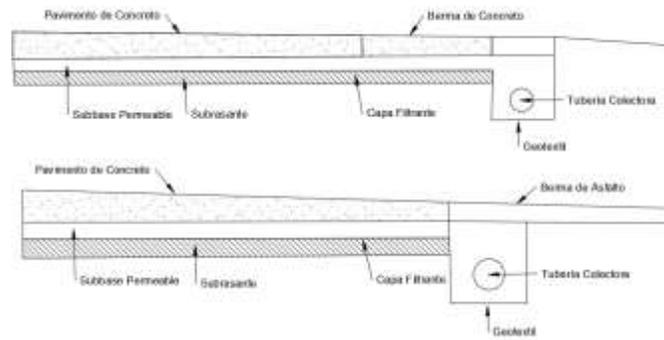
Para colocar el sello de arena o juntas se esparce la arena sobre los adoquines formando una capa delgada que no cubra totalmente los adoquines y se barre repetidamente y en distintas direcciones con escobas o cepillos de cerdas largas y duras, tantas veces como sea necesario para que penetre la junta, este barrido se hace antes de, o simultáneamente, con cada pasada del vibro compactador y al final de la operación de manera que las juntas queden totalmente llenas. [13]

El sellado de las juntas es necesario para el buen funcionamiento del pavimento. Por esto, es importante emplear el material adecuado y ejecutar el sellado lo mejor posible,

simultáneamente con la compactación final. Si las juntas están mal selladas, los adoquines quedarán sueltos, el pavimento pierde solidez y se deteriora rápidamente. Esto es aplicable tanto a un pavimento recién construido como a un pavimento antiguo. [13]

1.1.3.4 Bermas

Figura 7. Bermas de concreto y asfalto



Fuente: AASHTO, *Guide For Design of Pavement Structures*, 1993

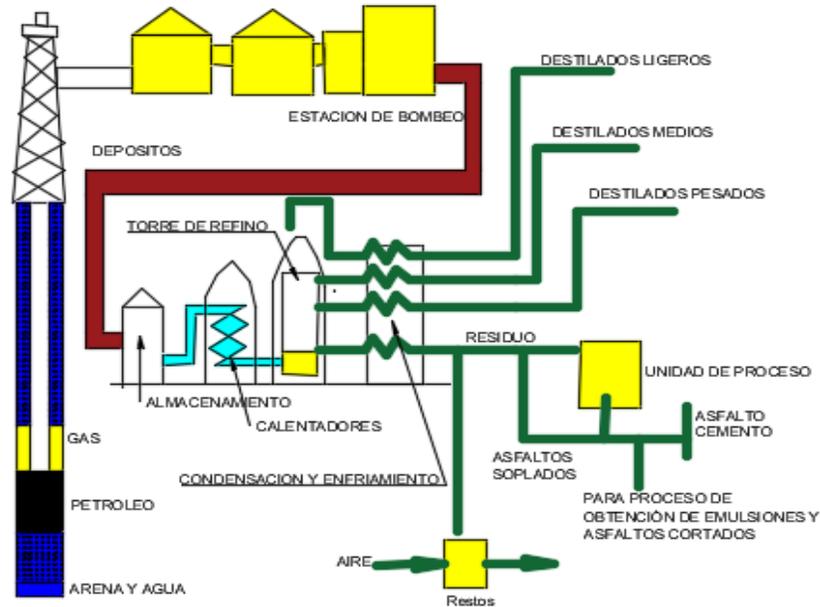
Las bermas son aquella parte de la corona del pavimento que se encuentra aledaña a la superficie de rodamiento y que tiene como función principal, proporcionar un espacio adecuado para la detención de vehículos en emergencia. [12]

En nuestro medio el ancho de las bermas es variable, entre 0.50 y 2.00 metros. Y depende de la importancia de la carretera. La pendiente transversal de las bermas es algo mayor a la de la carretera. La pendiente transversal de las bermas es algo mayor a la de la superficie del pavimento para permitir una adecuada evacuación de las aguas lluvias. [12]

Las bermas de las carreteras importantes están pavimentadas y en ocasiones tienen la misma estructura de la calzada, aunque en general, en nuestras carreteras, su estructura tiene una menor capacidad de soporte. Las bermas deberán tener una adecuada estructura con respecto a la prevista para la calzada, de tal forma, que deben ser capaces de soportar cargas estáticas de vehículos pesados ocasionalmente estacionados y ser económicas. Es deseable además una diferenciación visual entre las superficies de rodadura de calzada y bermas. [12]

1.1.3.5 Asfalto

Figura 8. Obtención del asfalto en refinería



Fuente: Fuente: F. Sánchez Sabogal, *Construcción de Pavimentos Asfálticos*, 2015.

El asfalto se puede definir como un material de color oscuro, que puede tener consistencia líquida, semisólida o sólida, compuesto especialmente por hidrocarburos, solubles casi en su totalidad en sulfuro de carbono. [18]

Proceden de yacimientos naturales o como un residuo de la refinación de determinados crudos de petróleo. Sus propiedades aglutinantes y sus propiedades físicas y químicas los hacen aptos para un sin número de aplicaciones, entre éstas su uso para la construcción de los pavimentos flexibles. [18]

1.1.3.5.1 Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales se presentan en muchas formas en todo el mundo. Algunas veces el material se encuentra casi puro y otras veces asociado a grandes cantidades de materia mineral. Algunos asfaltos son blandos y adhesivos, mientras que otros son duros y frágiles; otros se hallan sobre la superficie de la tierra, en lagos o piscinas, mientras otros más se encuentran en lo profundo y toca explotarlos usando las técnicas de minería. [18]

Independientemente de la forma como se encuentren los asfaltos naturales, se considera que todos proceden del petróleo por procesos metamórficos, incluyendo evaporación, condensación y polimerización, Ocurridos tal vez en condiciones extremas de calor y presión. La naturaleza del petróleo original y el factor tiempo también determinan la naturaleza del asfalto resultante. [18]

Son bastante frecuentes los yacimientos en que el asfalto se halla llenando parcial o totalmente los poros en yacimientos rocosos, pero sin llegar a exudar. Los contenidos de asfalto en estas rocas pueden variar dentro de límites amplios, pero los de mayor utilidad son aquellos superiores al 7 %. [18]

1.1.3.5.2 Cementos Asfálticos

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza hoy en día en el mundo procede de la destilación fraccionada del petróleo. Entre los asfaltos derivados del petróleo se encuentra el denominado cemento asfáltico, también llamado asfalto solido o de penetración, Este asfalto es el más empleado en mezclas para pavimentos, licuándolo por calentamiento, por dilución por emulsificación. [18]

Estos cementos asfálticos se han clasificado de dos maneras; por su grado de penetración y por su viscosidad a 60 C. Esta última es una forma más racional de clasificación. [18]

EL proceso de obtención de cemento asfáltico comienza con el recibo del petróleo crudo en tanques cilíndricos, desde donde se bombea a las unidades de destilación primaria, previa deshidratación y desalación. El petróleo se hace circular por el interior de un horno, donde alcanza elevadas temperaturas y se vaporiza parcialmente, para luego pasar a la torre atmosférica, en la cual, por diferencia de temperaturas de condensación (punto inicial y punto final de ebullición), se obtienen las fracciones más livianas, como los gases, la nafta, el JP-A (combustible para avión), el queroseno, el ACPM y el gasóleo atmosférico. Los elementos más volátiles alcanzan los niveles más altos de las torres y los más pesados no logran ascender. [18]

Tabla 9. Características de cemento Asfáltico AC -20

PARÁMETRO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA
	(ASTM_INEN)	MÍN.	MÁX.		
Viscosidad Absoluta 140°F(60°C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	150	240	199.0	Pas
Viscosidad Cinemática 275°F(135°)	ASTM D2171_NTE INEN 810	300		332.0	mm/s
Penetración 77°F(25°C,100Gr,5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	60		73.0	dm
Punto de Inflamación copa abierta Cleveland	ASTM D92_NTE INEN 808	232		296.0	°C
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D2042_NTE INEN 915	99		99.9	%P
Residuo de ensayo de película fina en horno rotatorio	N/A	N/A			
Viscosidad 60°C	ASTM D2171_NTE INEN 810		800	639.0	Pas
Ductilidad 77°F(25°C)5cm/min	ASTM D113_NTE INEN 916	50		60.0	cm
Gravedad API a 60°F(15.6°C)	ASTM D1298_NTE INEN2319	REPORTE	REPORTE	6,7	API
Gravedad específica 60/60°F (15.6°C)	ASTM D1298_NTE INEN2319	REPORTE	REPORTE	1,0239	
Gravedad específica 25/25°C	ASTM 70	REPORTE	REPORTE		
Punto de ablandamiento	ASTM D36			48.0	°C
Índice de penetración	ASTM D5	-1,5		-0,8	
Cambio de masa	ASTM D2872			-0,1	%P
API Observado:14,595Temperatura Observada:99,6°C					

Fuente: Informe de Resultados Petroecuador

1.1.3.5.3 Asfaltos Normalizados

En razón de las variaciones en la composición del crudo, que mediante el proceso de refinación lo llevan desde su estado natural hasta la obtención de aceites, combustibles y otros productos, el asfalto producido tiene muchas veces propiedades que no cumplen con las especificaciones para su uso en las actividades de construcción, puesto que el asfalto es sólo un subproducto más de la refinación del petróleo y no es propiamente su objetivo principal. [18]

Una manera de mejorar dicha situación es optimizar el proceso de refinación, dirigiéndolo hacia la obtención de asfaltos que cumplan con las normas para su uso en construcción, es decir, asfaltos normalizados. En algunos casos, esto representa dejar de obtener otros productos de mayor valor comercial y, por consiguiente, más interesantes para la refinería. [18]

1.1.3.5.4 Asfaltos Modificados

Un asfalto modificado es aquel al que se le han incorporado polímeros o neumáticos molidos para modificar las propiedades físicas y reológicas, y así disminuir su vulnerabilidad a la temperatura y humedad, al igual que la oxidación y envejecimiento del asfalto, aprovechando que estos materiales son muy estables frente a los cambios climáticos y de temperatura. [18]

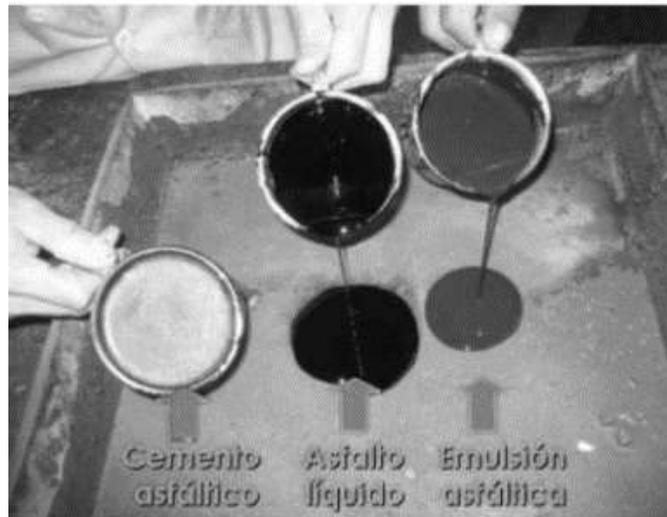
Los modificadores producen una actividad superficial iónica que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándolo aun en presencia del agua. También aumenta la resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y, por tanto, a la fatiga de los materiales, reduciendo el agrietamiento, así como a la sensibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores se aplican al material asfáltico antes de mezclarlos con los pétreos. [18]

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación "viscosidad vs. Temperatura", en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas

asfálticas, lo que permite mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto a bajas y altas temperaturas. [18]

1.1.3.5.5 Asfaltos Líquidos

Figura 9. Tipos de Asfalto para pavimentación



Fuente: F. Sánchez Sabogal, *Construcción de Pavimentos Asfálticos*, 2015.

También denominados asfaltos rebajados o cut backs, son materiales asfálticos, de consistencia blanda o fluida, compuestos por una fase asfáltica y un fluidificante (disolvente) volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan y queda el residuo asfáltico, el cual envuelve y aglutina las partículas del agregado. Este es el llamado proceso de curado. [18]

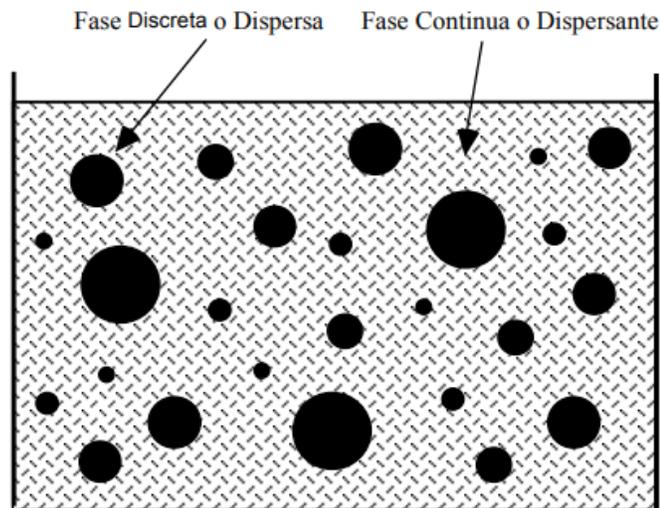
Son asfaltos líquidos los siguientes productos:

- **Asfalto de curado rápido.** Cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidas de un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centistokes. [18]
- **Asfalto de curado medio.** Si el disolvente es queroseno, se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidas de un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes. [18]

- **Asfalto de curado lento.** Su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil, y se designa con las letras SC (Slow Curing), seguidas de un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes. [18]
- **Road oil.** Fracción pesada del petróleo, usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC). [18]

1.1.3.5.6 Emulsiones Asfálticas

Figura 10. Emulsión con fase discreta o continua



Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, *Emulsiones Asfálticas*, 2001.

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). [19]

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que le dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata con las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, etc. [19]

El sistema de fabricación es de vital importancia, ya que de éste dependen la homogeneidad de la emulsión y el tamaño de las partículas de la fase dispersa, características que influyen notablemente en el comportamiento del producto. [18]

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; entre estas dispersiones se encuentran las emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro. En la siguiente Tabla se muestran los diferentes tipos de suspensiones que existen. [19]

Tabla 10. Diferentes tipos de suspensiones

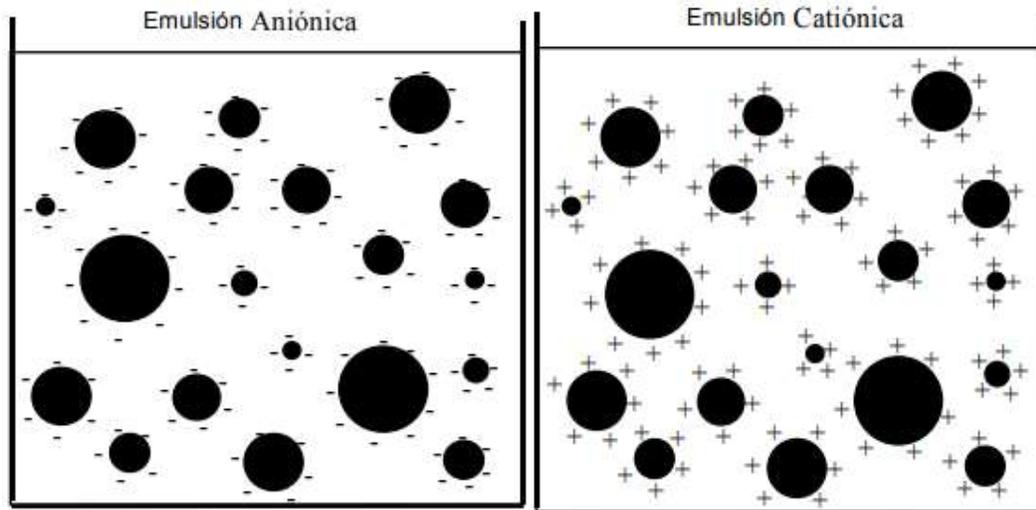
Fase Continua	Fase Discreta	Sistema
Gas	Líquido	Aerosoles, Niebla, Rocío
Gas	Sólido	Smoke, Aerosol
Líquido	Gas	Espuma
Líquido	Líquido	Emulsión, Solución Coloidal
Líquido	Sólido	Sol, Solución Coloidal, Gel, Suspensión
Sólido	Gas	Espumas Sólidas (piedra pómez), Zeolitas
Sólido	Líquido	Gel, Emulsión, Sólida
Sólido	Sólido	Aleación

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, *Emulsiones Asfálticas*, 2001.

Una emulsión asfáltica es una dispersión de glóbulos de asfalto en agua con un contenido de cemento asfáltico del 60 al 70 %. Las emulsiones asfálticas se fabrican poniendo asfalto fluidificado en contacto con el agua, suministrando una energía de dispersión (homogeneizador) y un agente emulsificador. En una buena emulsión, los glóbulos de asfalto tienen de dos a cinco micrones (milésimas de milímetros) de diámetro. [18]

Las emulsiones asfálticas pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de emulsificante usado. Se puede hablar de dos clases de emulsión aniónicas y catiónicas. [18]

Figura 11. Emulsión Aniónicas y Catiónicas



Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, *Emulsiones Asfálticas*, 2001.

- **Emulsiones aniónicas** (sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja). Son aquellas en las que la polaridad del emulsificante es de carga negativa y descarga en el ánodo. [18]
- **Emulsiones catiónicas** (producto de la reacción de ácidos inorgánicos fuertes, como ácido clorhídrico con aminas grasas). Son aquellas en las que la polaridad del emulsificante es de carga positiva y descargan en el ánodo. [18]

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas se clasifican de la siguiente manera:

- **De Rompimiento Rápido:** Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- **De Rompimiento Medio:** Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, re nivelaciones y sobre carpetas.
- **De Rompimiento Lento:** Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas

- **Para Impregnación:** Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.
- **Súper Estables:** Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos. [19]

Tabla 11. Clasificación de Emulsiones Asfálticas

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilización	Catiónica

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, *Emulsiones Asfálticas*, 2001.

1.1.3.6 Mezcla Asfáltica

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. Algunas mezclas asfálticas son: [12]

- Mezcla abierta en frío.
- Mezcla abierta en caliente.
- Mezclas densas en frío.
- Concreto asfáltico o mezcla densa en caliente.
- Mezclas asfálticas drenantes.
- Mezclas discontinuas o micro aglomerante en caliente.
- Mezclas tibias.

- Mezclas asfálticas modificadas.
- Materias granulares estabilizados con asfalto en frío o caliente. [12]

1.1.3.6.1 Mezcla Abierta en Frío

Figura 12. Planta de fabricación de Mezclas Bituminosas abiertas en frío



Fuente: J. A. Soto y J. Nebreda, *Mezclas Abiertas en Frío*, 2018

Se denomina mezcla abierta en frío a la combinación de un agregado que predominantemente es grueso y de granulometría uniforme y emulsión catiónica de rompimiento medio (CRM), ambos componentes en frío. [12]

Durante el proceso de compactación de la mezcla se deberá aplicarse un sello de arena para evitar la adhesión de las llantas de los vehículos, debido a la presencia de fluidificantes en la emulsión asfáltica [12]

Las mezclas bituminosas abiertas en frío se definen como la combinación de áridos gruesos con una emulsión bituminosa y ocasionalmente algún aditivo que mejore la compatibilidad árida/ligante. Pueden considerarse, desde el punto de vista medioambiental, “mezclas pro-ecológicas” dado que su fabricación no requiere calentar previamente los componentes, evitando un consumo de energía y emisiones a la atmósfera de gases y humos. [20]

Este tipo de mezclas, sin finos, nos permite obtener rodaduras muy flexibles y por lo tanto adaptables a las deformaciones de las bases. Su alto porcentaje de huecos confieren a la capa de rodadura una elevada macro textura lo que se traduce en carreteras muy seguras por su alta resistencia al deslizamiento y con un alto grado de confort por su baja sonoridad. [20]

Son mezclas que, por ser pobres en mortero, trabajan por rozamiento interno de los áridos, de ahí su gran flexibilidad y su buen comportamiento a la fatiga. La gran proporción de huecos en la mezcla nos permite la utilización de emulsiones bituminosas de rotura media con fluidificantes lo que facilita su mejor manejo durante plazos de tiempos importantes, varias semanas, siempre que permanezcan bien acopiados. [20]

1.1.3.6.2 Mezcla Abierta en Caliente

Figura 13. Mezcla en Caliente



Fuente: J. A. Soto y J. Nebreda, *Mezclas Abiertas en Frío*, 2018

Las Mezclas Asfálticas o Bituminosas en Caliente son aquellas combinaciones de áridos, incluyendo el polvo mineral, más un ligante hidro carbonato, y ante eventualidad, aditivos, todos mezclados en máquinas mezcladoras, combinándolos, con el objetivo de que todas las partículas del árido queden cubiertas por una película ligante homogénea. [21]

Su proceso de fabricación consiste en calentar, a través de los equipos adecuados, el ligante junto con los áridos, y se realiza su colocación en obra con una temperatura superior al ambiente. Estas mezclas asfálticas se llevan a cabo en plantas especiales, efectuando un control estricto de las características de la producción. Luego se transportan en camiones de palangana lisa, preferiblemente tratadas interiormente con un producto que impida la adherencia de la mezcla asfáltica, posteriormente se cubren las palanganas de los camiones con lonas, para continuar realizando la distribución de la mezcla, sobre una superficie limpia, con colocadoras mecánicas o “finiere”. En seguida, se procede a compactar la mezcla con rodos adecuados (compactadoras vibratorias de uno o dos rodos). Y, por último, se sella la capa de rodadura con el uso de la compactadora de rodos neumáticos. [21]

1.1.3.6.3 Mezclas Densas en Frío

Figura 14. Compactación mezcla densa frío



Fuente: F. Sánchez Sabogal, *Construcción de Pavimentos Asfálticos*, 2015.

Se define las mezclas densas en frío como la combinación de un ligante bituminoso con agregados minerales bien gradados granulométricamente con un elevado porcentaje de finos y que es posible fabricar, extender y compactar a temperatura ambiente. [12]

El mortero asfáltico aprobado con normas; ASTM D3910, ISSA A105 (International Slurry Surfacing Association o Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros) y bajo especificaciones nacionales MOP001-F 2000, sección 405-7, se define como la mezcla compuesta por emulsión asfáltica, agregados pétreos triturados con granulometría definida, relleno mineral, agua y en ciertos casos aditivos, todo esto proporcionalmente mezclado de acuerdo al Diseño de Mezcla, el cual define la Fórmula Maestra de Obra. Esta mezcla aplicada como superficie de desgaste sobre pavimentos, es producida, esparcida y uniformemente distribuida por una máquina especialmente diseñada para este propósito, la misma que deberá adherirse firmemente sobre una capa de rodadura previamente preparada, logrando propiedades de impermeabilidad y antideslizantes durante todo el tiempo de vida. [15]

1.1.3.6.4 Mezcla Densa en Caliente

Figura 15. Densidad de la mezcla



Fuente: F. Sánchez Sabogal, *Construcción de Pavimentos Asfálticos*, 2015.

Consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados y recubiertos con cemento asfáltico. Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico y adecuada trabajabilidad y mezclado, tanto el agregado como el asfalto deben ser calentados antes del mezclado: de ahí el termino mezcla en caliente las mezclas asfálticas en caliente pueden ser producidas para un amplio rango de combinaciones de

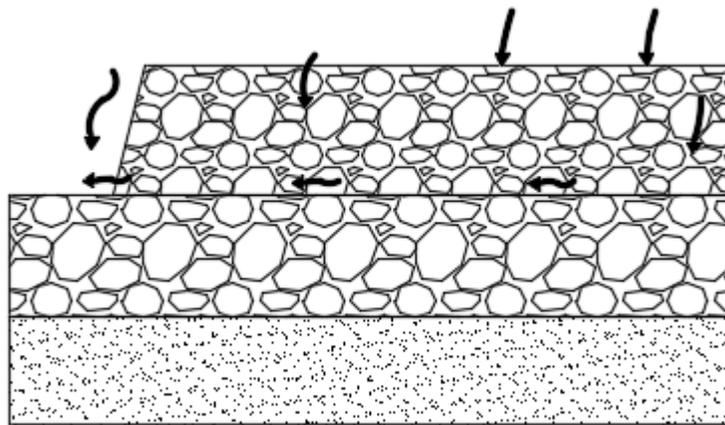
agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción. [12]

Estas mezclas están conformadas por materiales pétreos, ligante bituminoso y eventualmente agua y adiciones. Puede ser colocada como capa de base o de rodadura; esta última capa tiene la responsabilidad de brindar durabilidad, comodidad y seguridad de los usuarios y además es la que va a soportar de manera completa las cargas aplicadas tanto verticales como horizontales. [22]

Para que las mezclas sean de alta calidad deben tener drenabilidad, buena adherencia, agregado o ligante, buena resistencia a la deformación plástica y homogeneidad. Cada capa de rodadura debe cumplir con las funciones de eliminar las vibraciones molestas a elevadas velocidades. [22]

1.1.3.6.5 Mezclas Porosas o Drenante

Figura 16. Mezclas Porosas



Fuente: C. Kraemer , J. M. Pardillo, S. Rocci, M. Romana , V. Sánchez Blanco y M. Á. del Val, *Ingeniería de Carreteras*, 2010.

Son aquellas mezclas asfálticas cuyo contenido de vacíos es suficientemente alto para permitir a su través se filtre el agua lluvia con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura, incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas. La proporción de vacíos es superior a 20%. [12]

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón. [23]

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración. [23]

1.1.3.7 Propiedades de Mezclas Asfálticas

Durabilidad: Es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito, al clima y pérdida de cohesión al paso del tiempo. [24].

Es la propiedad de la mezcla asfáltica que describe su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito que pueden provocar envejecimiento del asfalto, desintegración del agregado y desprendimiento de la película de asfalto del agregado. Una buena mezcla asfáltica no debe sufrir envejecimiento excesivo durante la vida en servicio. Esta propiedad se relaciona con el espesor de la película de asfalto, y con los vacíos de aire. [25]

Cohesión: Es la fuerza aglomerante del ligante con el agregado; ayuda a aumentar la resistencia al corte de la mezcla; varía con la temperatura; y aumenta con la cantidad de asfalto hasta un máximo, para luego decrecer. [24]

Estabilidad: Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros signos de desplazamiento de la mezcla. [25]

La estabilidad depende, sobre todo, de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo de asfalto; mientras

que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado. [25]

Impermeabilidad: Es la resistencia del pavimento a ser penetrado por el agua y el aire. Se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento. [24]

Aunque la impermeabilidad es esencial para la durabilidad de las mezclas compactadas, toda la mezcla asfáltica usada en la construcción de carreteras tiene cierto grado de permeabilidad. Es aceptable cuando la permeabilidad está dentro de los límites especificados. [18]

Flexibilidad: Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad. [25]

Trabajabilidad: Es la facilidad que tiene una mezcla para ser colocada y compactada. Está relacionado con el tipo y porcentaje de agregado, además de la temperatura de mezclado y compactación. **Flexibilidad:** Es la capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse. [26]

Resistencia a la Fatiga:

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos. El agrietamiento por fatiga está relacionado con el contenido y la rigidez del asfalto. Por su parte, los contenidos de asfalto muy altos harán que la mezcla tienda más a deformarse elásticamente (o a deformarse menos) que a fracturarse bajo carga repetida. Aunque también debe señalarse que la resistencia a la fatiga depende en gran medida de la relación entre el espesor estructural de la capa y la carga. [25]

Resistencia al Deslizamiento: Es una cualidad que debe presentar un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje o a la posibilidad de hidropneumático. [25]

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodadura, en particular cuando está húmeda. Una resistencia al deslizamiento baja se relaciona generalmente con las características del agregado y el contenido de asfalto. [25]

1.1.3.8 Características que Debemos Obtener en la Mezcla

Entre las más importantes tenemos:

- Dosificación óptima de la mezcla asfáltica para garantizar un pavimento durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito sin que se produzca exudación o pérdida de estabilidad.
- Trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación. [26]

1.1.3.9 Reciclado

Se define al término reciclado como la reutilización, usualmente luego de cierto grado de procesamiento, de un material que ya ha servido su propósito original. En lo relativo al reciclado de pavimentos asfálticos, hay varios métodos disponibles; en consecuencia, para cada proyecto en consideración para reciclado hay que evaluar cuidadosamente el método más apropiado. Entre los factores que se deben incluir están: [18]

- Condición existente del pavimento.
- Espesores y tipos de los materiales del pavimento existente.
- Requerimientos estructurales del pavimento reciclado.
- Disponibilidad de aditivos de reciclado.

1.1.3.10 Tipos de Reciclados de Pavimentos

1.1.3.10.1 Fresado en Frío

Se remueve el pavimento asfáltico hasta una profundidad especificada y la superficie es restaurada, con las pendientes transversal y longitudinal deseadas y libre de lomos, huellas y otras imperfecciones superficiales. La remoción del pavimento o fresado se ejecuta con la máquina de tambor giratoria autopropulsada (fresadora) para cepillado en frío. El Pavimento Asfáltico Recuperado RAP se carga en camiones y se acopia para reciclado en caliente o en frío. [18]

1.1.3.10.2 Reciclado en Caliente

Se combina el RAP con agregado nuevo y cemento asfáltico o agente de reciclado, para producir una mezcla asfáltica en caliente. Comúnmente las plantas empleadas para producir la mezcla son las de tambor. El RAP es producido en su mayor parte por fresado en frío, pero también puede elaborarse a partir de remoción del pavimento y su trituración. Los equipos y los procedimientos para colocación y compactación de la mezcla son aquellos típicos de las mezclas asfálticas. [18].

1.1.3.10.3 Reciclado en Caliente in Situ

El reciclado se lleva a cabo en el lugar y el pavimento se procesa típicamente hasta una profundidad de 20-40 mm $\frac{3}{4}$ - 1½ pulgadas). El pavimento asfáltico es calentado, ablandado y escarificado hasta la profundidad especificada. Se agrega una emulsión u otro agente de reciclado, y empleando uno de los procesos, se incorpora nueva mezcla asfáltica en caliente en la medida necesaria. Los tres métodos de reciclado in situ en caliente son termo escarificación, repavimentación y remezclado. [18]

1.1.3.10.4 Reciclado en Frío

Si bien el reciclado en frío también se realiza empleando la planta central o fija, el método utilizando más comúnmente es el reciclado en frío in situ (Cold in-place Recycling, CIR). En el CIR, habitualmente el pavimento asfáltico existente es procesado

hasta una profundidad de 50-100 mm (2-4 pulgadas). El pavimento es pulverizado y el material recuperado se mezcla con la emulsión asfáltica o el agente de reciclado emulsionado; luego, se lo extiende y se lo compacta, construyéndose así una base las bases recicladas en frío requieren una nueva superficie asfáltica. Para pavimentos de bajo tráfico, puede aplicarse un tratamiento de superficie con emulsión, y para tráfico intenso, un tratamiento de superficie con emulsión modificada o una carpeta de rodamiento con una mezcla asfáltica en caliente. [18]

1.1.3.10.5 Recuperación Full – Depth

En este método, toda la sección de pavimento y en algunos casos un volumen predeterminado del material subyacente, se mezcla con emulsión asfáltica para construir una base estabilizada. Con este proceso constructivo, el problema en la base se puede corregir. La recuperación full depth consiste en seis etapas básicas; pulverización, incorporación de aditivos o emulsión, extendido, compactación, perfilado y colocación de la nueva superficie asfáltica. El espesor de una recuperación full – depth depende del espesor del pavimento existente, de las condiciones del suelo de la subrasante y el Tráfico futuro. Típicamente el espesor varía entre 150 y 200 mm (6 a 10 pulg). [18]

1.1.3.10.6 Reciclado en Frío de Materiales Tratados

Estos reciclados constituyen realmente una buena base estabilizada con asfalto, que requiere una capa de concreto asfáltico colocada encima que le sirve a la vez de refuerzo y como rodadura. Según el instituto de asfalto esta capa debe ser de 5cm para el tráfico liviano y mediano y de 10 cm para tráfico pesado. Para su colocación debe observarse el tiempo mínimo de curado o maduración (emulsiones). [18]

1.1.3.10.7 Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP)

El pavimento asfáltico reciclado (RAP) o Reclaimed Asphalt Pavement corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido producto de una reconstrucción o rehabilitación De acuerdo con Han, Thakur, Chong y Parsons (2011),

tanto el agregado como el ligante asfáltico que comprende el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento. [27]

1.1.3.11 Extracción del Asfalto

Este ensayo cubre la determinación cuantitativa de materiales bituminosos en muestras de mezcla asfáltica en caliente, adicional a esto el agregado obtenido de la recuperación de asfalto puede ser utilizado para la prueba de separación por tamices o mallas en un análisis de granulometría. [28]

El asfalto es extraído de la mezcla asfáltica con un disolvente, puede ser utilizado tricloroetileno o cloruro de metileno en un equipo diseñado para la extracción, el contenido de asfalto se calcula considerando el agregado seco, el contenido de agua de la mezcla y la materia mineral producto de la extracción, este contenido de asfalto se expresa como un porcentaje de mezcla libre de humedad. El asfalto es disuelto en el solvente y recuperado posteriormente mediante un Rota vapor. [28]

Estos procedimientos pueden ser utilizados como métodos de control de calidad de la mezcla asfáltica, investigación, evaluación de servicio, además el asfalto recuperado con bajo contenido de materiales minerales puede ser evaluado con pruebas de caracterización de asfaltos e inclusive procedimientos reológicas. [28]

Este método de ensayo puede ser utilizado para determinar de forma cuantitativa el contenido de Asfalto en una Mezcla de pavimento HMA, para aceptación a modo de control de calidad o investigación. Este método requiere de solventes pero es no destructivo de la muestra, por esta razón el asfalto recuperado puede ser utilizado para ensayos posteriores, el agregado remanente puede ser utilizado también para estudios granulométricos. [28]

El cemento asfáltico en la mezcla del pavimento es extraído mediante un proceso de dilución en solvente (mediante un reflujo o una centrífuga de extracción). El cemento asfáltico es calculado por la diferencia de masa inicial de la muestra y las masas del

agregado residual, el contenido de agua, material mineral. El resultado se expresa como porcentaje de asfalto libre de humedad. [28]

1.1.3.12 Granulometría

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. [29]

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. [29]

1.1.3.13 Método de Marshall

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas. [30]

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. [30]

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos

aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. [30]

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 ° C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. [29]

Tabla 12. Ensayos del Método Marshall

Ensayo de acuerdo al método Marshall	TRÁFICO					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
No. De golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1800	--	1200	--	750	--
Flujo (pulgada/100)	8	16	24	32	40	48
% Vacíos con aire:						
Carpetas	3	5	3	5	3	5
ase	3	8	3	8	3	8

Nota: % de Vacíos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo con el gráfico actualizado del Instituto del Asfalto

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, 2002.

1.1.3.14 Ensayo Rice

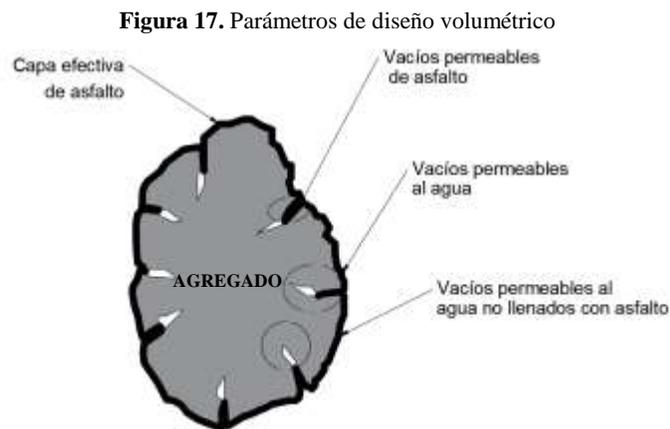
Este método de ensayo da como resultado la existencia de valores correctos de (%) porcentajes de vacíos totales que afectan directamente a la calidad de la mezcla. [31]

Parámetros como el contenido de vacíos totales en el diseño de mezcla y el (%) porcentaje de compactación durante la colocación del concreto asfáltico, son controlados por medio de la gravedad máxima teórica (GMM). [31]

1.1.3.15 Gravedad Específica Teórica Máxima y Densidad de Mezclas Asfálticas para Pavimentos

La gravedad específica teórica máxima y la densidad de mezclas asfálticas para pavimentos son propiedades fundamentales, cuyos valores están afectados por la composición de la mezcla en términos del tipo y cantidad de agregados y de los materiales asfálticos. [32]

- Estos valores son usados para calcular el porcentaje de vacíos con aire en una mezcla de pavimento asfáltico en caliente compactada.
- Ellos son esenciales para calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos del agregado en una mezcla asfáltica en caliente.
- Ellos dan valores importantes para el proceso de compactación de mezclas asfálticas para pavimentos.
- El tamaño de la muestra debe cumplir con los siguientes requisitos: muestras mayores que la capacidad del recipiente deben ser ensayadas por porciones no menores de 1250 g. [32]



Fuente: P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. A. Romero y H. A. Alarcón Orta, *Aspectos del Diseño Volumétrico de mezclas Asfálticas*, 2004

Tabla 13. Muestra mínima en gr dependiendo el tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra mm (pul)	Muestra mínima g
50.0 (2)	6000
37.5 (1 1/2)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (3/4)	2000
12.5 (1/2)	1500
9.5 (3/8)	1000
4.75 (No.4)	500

Fuente: Norma I.N.V.E.-735-07, *Gravedad específica máxima teórica (Gmm) y densidad de mezclas asfálticas para pavimentos,*

1.1.3.16 Gravedad Específica

Se entiende por gravedad específica de un material la relación de su peso a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. La gravedad específica de los asfaltos sólidos se determina por inmersión directa en agua y la de los semisólidos, líquidos y emulsificados se encuentra por medio del picnómetro. Además de dar indicaciones sobre la calidad y el origen del material la gravedad específica sirve para determinar las equivalencias de pesos a volúmenes a la temperatura de aplicación y para algunos cálculos importantes en el diseño de mezclas bituminosas. [29]

1.1.3.17 Tráfico

El diseño de una carretera o de un tramo de la misma debe basarse entre otras informaciones en los datos sobre tráfico, con el objeto de compararlo con la capacidad o sea con el volumen máximo de vehículos que una carretera puede absorber. El tráfico, en consecuencia, afecta directamente a las características del diseño geométrico. [33]

La información sobre tráfico debe comprender la determinación del tráfico actual (volúmenes y tipos de vehículos), en base a estudios de tráfico futuro utilizando pronósticos. [33]

1.1.3.17.1 Tráfico Promedio Diario Anual

La unidad de medida en el tráfico de una carretera es el volumen del tráfico promedio diario anual cuya abreviación es el TPDA. [33]

Para el cálculo del TPDA se debe tomar en cuenta lo siguiente: En vías de un solo sentido de circulación, el tráfico será el contado en ese sentido. [33]

En vías de dos sentidos de circulación, se tomará el volumen de tráfico en las dos direcciones. Normalmente para este tipo de vías, el número de vehículos al final del día es semejante en los dos sentidos de circulación. [33]

Para el caso de Autopistas, generalmente se calcula el TPDA para cada sentido de circulación, ya que en ellas interviene lo que se conoce como FLUJO DIRECCIONAL que es el % de vehículos en cada sentido de la vía: esto, determina composiciones y volúmenes de tráfico diferentes en un mismo período. [33]

Para determinar el TPDA, lo ideal sería disponer de los datos de una estación de conteo permanente que permita conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales. Como no es usual ni práctico tener estaciones permanentes en todas las rutas, se puede estimar en una primera semana el TPDA semanal, efectuando montajes por muestreo de 24 horas diarias, durante por lo menos 4 días por semana que incluyan sábado y domingo. [33]

Tipos de Conteo.

- **Manuales:** Son irremplazables por proporcionarnos información sobre la composición del tráfico y los giros en intersecciones de las que mucho depende el diseño geométrico de la vía. [33]
- **Automáticos:** Permiten conocer el volumen total del tráfico. Siempre deben ir acompañados de conteos manuales para establecer la composición del tráfico. Con los equipos de conteo automático debe tenerse mucho cuidado con su

calibración, ya que cuentan pares de ejes (por cada dos impulsos percibidos registran un vehículo). [33]

Período de Observación.

Para un estudio definitivo, se debe tener por lo menos un conteo manual de 7 días seguidos en una semana que no esté afectada por eventos especiales. [33]

Adjunto a esta información, es importante tener datos de un conteo automático por lo menos durante un mes para cuantificar el volumen total de tráfico y correlacionar con la composición registrada en la semana. [33]

Variaciones de Tráfico.

Como variaciones de tráfico se conoce a los factores que nos permiten establecer relaciones entre observaciones actuales y puntuales de tráfico de los datos estadísticos de lo ocurrido con anterioridad, llegando así a determinar el TPDA del año en el que se realice el estudio. [33]

Cálculo de Variaciones (Factores).

Para llegar a obtener el TPDA a partir de una muestra, existen cuatro factores de variación que son:

- **Factor Horario (FH).** nos permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas. [33]
- **Factor Diario (FD).** transforma el volumen de tráfico diario promedio en Volumen Semanal Promedio. [33]
- **Factor Semanal (FS).** transforma el volumen semanal promedio de tráfico en Volumen Mensual Promedio. [33]
- **Factor Mensual (FM).** transforma el volumen mensual promedio de tráfico en Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). [33]

$$TPDA = T_o \times FH \times FD \times FS \times FM$$

1.1.3.17.2 Tráfico Futuro

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual. [33]

Los diseños se basan en una predicción del tráfico a 15 o 20 años y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. [33]

Las proyecciones de tráfico se usan para la clasificación de las carreteras e influyen en la determinación de la velocidad de diseño y de los demás datos geométricos del proyecto. [33]

La predicción de tráfico sirve, además, para indicar cuando una carretera debe mejorar su superficie de rodadura o para aumentar su capacidad. [33]

1.1.3.17.3 Crecimiento Normal del Tráfico Actual.

El tráfico actual es el número de vehículos que circulan sobre una carretera antes de ser mejorada o es aquel volumen que circularía, al presente, en una carretera nueva si ésta estuviera al servicio de los usuarios. [33]

Para una carretera que va a ser mejorada el tráfico actual está compuesto por:

- **Tráfico Existente:** Es aquel que se usa en la carretera antes del mejoramiento y que se obtiene a través de los estudios de tráfico. [33]
- **Tráfico Desviado:** Es aquel atraído desde otras carreteras o medios de transporte, una vez que entre en servicio la vía mejorada, en razón de ahorros de tiempo, distancia o costo. [33]
- En caso de una carretera nueva, el tráfico actual estaría constituido por el tráfico desviado y eventualmente por el tráfico inicial que produciría el desarrollo del área de influencia de la carretera. [33]

Tabla 14. Tasas de crecimiento de tráfico

TASA DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO		
TIPOS DE VEHÍCULOS	PERÍODO	
	1990 - 2000	2000 - 2010
Livianos	5	4
Buses	4	3,5
Camiones	6	5

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

1.1.3.17.4 Clasificación de Carreteras de Acuerdo al Tráfico.

Para el diseño de carreteras en el país, se recomienda la clasificación en función del pronóstico de tráfico para un período de 15 o 20 años. [33]

Tabla 15. Clasificación de carretera en función al tráfico proyectado

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

* El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectuó el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

1.1.3.17.5 Clase de Carretera

En el Ecuador, el MOP ha clasificado tradicionalmente las carreteras de acuerdo a un cierto grado de importancia basado más en el volumen del tráfico y el número de calzadas requerido que en su función jerárquica. [33]

Notas:

(1) De acuerdo al nivel de servicio aceptable al final de la vida útil.

(2) RI - RII - Autopistas.

De acuerdo a la jerarquía atribuida en la red, las carreteras deberán ser diseñadas con las características geométricas correspondientes a su clase y construirse por etapas en función del incremento del tráfico. [33]

- **Corredores Arteriales**

Estos corredores pueden ser carreteras de calzadas separadas (autopistas) y de calzada única (Clase I y II). Dentro del grupo de autopistas, éstas tendrán un control total de accesos y cuyo uso puede ser prohibido a cierta clase de usuarios y de vehículos. Dentro del segundo grupo de arteriales (Clase I y II) que son la mayoría de las carreteras, éstas mantendrán una sola superficie acondicionada de la vía con dos carriles destinados a la circulación de vehículos en ambos sentidos y con adecuados espaldones a cada lado; incluirá además pero en forma eventual, zonas suplementarias en las que se asientan carriles auxiliares, zonas de giro, paraderos y sus accesos que se realizan a través de vías de servicio y rampas de ingreso/salida adecuadamente diseñadas. [33]

- **Vías Colectoras**

Estas vías son las carreteras de clase I, II, III y IV de acuerdo a su importancia que están destinadas a recibir el tráfico de los caminos vecinales. Sirven a poblaciones.

Tabla 16. Resumen de pesos y dimensiones de buses y camiones

DIMENSIONES DE CAMIONES Y BUSES	PROYECTO DE REFORMA SEGÚN MOP	VIGENTES MOP
Ancho camión	2,60 m	2,60 m
Ancho bus	2,60 m	2,60m
Alto camión	4,10 m	4,10 m
Alto bus	4,10 m	4,10 m
Largo camión rígido (1,2 o 3 ejes en el semirremolque)	11,50 m (con 2 ejes) 12,20 m (con 3 ejes)	12,00 m
Largo tracto camión + semirremolque (1,2,3,ejes) en el semirremolque	17,50 m (281; 282; 283 ; 381) 18,3 m (382, 383)	18,00 (382 y 383)
Largo semirremolque	9,0 m (1 eje) 12,3 m (2 ejes) 13,0 m (3 ejes)	9,0 m (1 eje) 12,3 m (2 ejes) 13,0 m (3 ejes)
Largo remolque	10,00 m	10,00 m
largo camión + remolque	18,30 m	18,30 m
Largo tracto camión +semirremolque+ remolque	18,30 m	18,30 m
Largo bus larga distancia	Convencional 13,3 m Semi integral 15,0 m hasta con 3 ejes Integral 15,0 m hasta 4 ejes direccionales	
Largo bus articulado	18,3 m	...
Largo bus urbano/ sub urbano
Ancho vehículos especiales
Alto vehículos especiales
Largo vehículos especiales (1)	21	21
Separación para ejes compuestos	...	Mín 1,2 m máx. 1,6 m
PESOS CAMIONES		
Eje trasero simple rodado simple (2r)	6,00 t	6,00 t
Eje trasero simple rodado doble (1r)	11,00 t	12,00 t
Eje trasero doble rodado simple (4r)	12,00 t	12,00 t
Eje trasero doble rodado simple y doble (6r)	15,50 t	...
Eje trasero doble rodado doble (6r)	19,00 t	20,00 t
Eje trasero triple rodado simple (6 r)	18,00 t	...
Eje trasero triple 1 rodado simple y 2 dobles (10 r)	24,00 t	...
Eje trasero triple 3 rodados dobles (12r)	24,00 t	24,00 t
Peso bruto total admitido	48,00 t	48,00 t
Tolerancias de pesos	500Kg para eje delantero y 1000 Kg para cualquiera de los ejes posteriores No existe tolerancia para el P.B.V	
Relación potencias de pesos	6,5 IIP/t	8IIP/t y 6,5 IIP/t
En estudio el cambio de valores		

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, 2003

1.1.4 Hipótesis

Hipótesis de trabajo

El diseño de adoquines con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregado reciclados, tiene una estabilidad alta con respecto a los realizados con agregados no reciclados considerándose adecuados para tráfico liviano y su costo es óptimo respecto a un adoquín convencional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Diseñar adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Obtener el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en caliente para la elaboración de adoquines utilizando agregados reciclados y no reciclados.
- ✓ Elaborar adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados de geometrías convencionales.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.
- ✓ Comparar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente tanto para los fabricados utilizando agregados reciclados, agregados no reciclados y adoquines de hormigón simple.
- ✓ Diseñar la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente.
- ✓ Analizar la diferencia en costos de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Dato de Campo

La muestra de agregados reciclados se obtuvo mediante un proceso de fresado de la calle Dr. Julio Enrique Paredes del Cantón Ambato Provincia de Tungurahua.

Dato Experimental

Los adoquines tienen una investigación experimental debido a que es un tema poco conocido, ya que estos adoquines se elaboraron con formas convencionales, pero a su vez se realizan con mezclas asfálticas en caliente ya sean con agregados reciclados y no reciclados, con un porcentaje óptimo de cemento asfáltico. Lo que se trata con estos adoquines es obtener la resistencia a la compresión que tendrá cada uno ya sean con agregados reciclados y no reciclado.

Datos de Laboratorio

La elaboración de probetas, el ensayo de gravedad específica de los agregados gruesos y finos, la elaboración de adoquines con mezclas calientes, los ensayos de la resistencia a compresión de los adoquines se realizarán en los laboratorios de suelos y ensayos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

La extracción del asfalto, El método Rice, el ensayo Marshall para determinar la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas en caliente se realizarán en los laboratorios de suelos del GAD Municipal Ambato.

Datos Analíticos

Mediante la investigación analítica se obtendrá información acerca de las mezclas asfálticas en caliente, el proceso de fresado de los agregados, los ensayos que se pueden realizar a los adoquines, el Método Marshall, y toda la información que se podrá ser utilizada para llevar a cabo este proyecto.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

Figura 18. Calle Dr. Julio Enrique Paredes



Fuente: ArcMap

La población se considera los agregados reciclados que fueron fresados de la calle Dr. Julio Enrique Paredes (Sector Socavón) del Cantón Ambato de la provincia de Tungurahua. Esta vía tiene aproximadamente 0.46 km.

Muestra

Para determinar el porcentaje óptimo de las mezclas asfálticas en caliente ya sean con agregados reciclados y agregados no reciclados se deberán realizar probetas aumentando diferentes porcentajes de cemento asfáltico.

- ✓ 6 probetas de mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados sin aumentar porcentajes de cemento asfáltico.
- ✓ 3 probetas de mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados aumentando 0.5% de cemento asfáltico.
- ✓ 3 probetas de mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados aumentando 1% de cemento asfáltico.
- ✓ 3 probetas de mezcla asfáltica en caliente con agregados no reciclados con 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% de cemento asfáltico.

Para determinar la resistencia a la compresión que tendrá nuestros adoquines se realizará 5 muestras de cada uno de los adoquines con el porcentaje óptimo ya sean con agregados reciclados y no reciclados.

- ✓ 5 Adoquines con mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados aumentando un porcentaje óptimo del 0.5% de cemento asfáltico con una altura de 6, 7 y 8 cm.
- ✓ 5 Adoquines con mezcla asfáltica en caliente con agregados no reciclados con un porcentaje óptimo de 6.2% de cemento asfáltico con una altura de 6, 7 y 8 cm.
- ✓ 5 Adoquines convencionales que tenga la resistencia de 210 kg/cm² con una altura de 6, 7 y 8 cm.

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

2.1.1 Método de la Extracción del Asfalto

Figura 19. Máquina centrífuga



Fuente: Autor

Extractor: Consistente en un bol y un aparato dentro del cual pueda girar el bol a una velocidad variable y controlada hasta 3.600 rpm. El aparato debe estar provisto de un contenedor que recoja el solvente despedido por el bol y un drenaje para evacuar el solvente.

Papel filtro anular: De porosidad media y diámetro igual al del bol. El contenido de cenizas del papel no podrá exceder el 0,2 % de su masa.

Horno: Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Balanzas: De 1g y 0,01 g de precisión.

Probetas graduadas: De 100 y 1000 ml de capacidad.

Crisol: Consistente en una cápsula de metal o porcelana de 125 ml de capacidad.

Cocina: Capaz de mantener temperaturas entre 500 y 600°C . [34]

2.1.2 Ensayo Marshall

Figura 20. Prensa Marshall



Fuente: Autor

Molde. Consistente en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres (3) moldes. Para facilidad de manejo, es conveniente que el molde esté provisto de agarraderas.

Extractor de Probetas: Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere de un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta, de manera que ésta pase suavemente del molde al collar.

Martillo de Compactación: Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón deslizante de 4536 ± 9 g (10 ± 0.02 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06 ").

Pedestal de Compactación: Consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado x 25.4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0.67 a 0.77 g/cm³ (42 a 48 lb/pie³).

Sujetador para el molde: Consistente en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición durante el proceso de compactación.

Prensa: Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8 mm por minuto (2" min.).

Medidor de la estabilidad: La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.0025 mm (0.0001").

Horno: Para calentar los agregados, el material asfáltico, el conjunto de compactación y la muestra, se empleará un horno, provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2.8° C (5°F).

Tanque para agua: De 152.4 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a 60° ± 1° C (140° ± 2.0° F). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

Tamices: Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados para la mezcla que se va a diseñar.

Termómetros blindados: De 9.9° C a 204° C (50° F a 400° F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8° C.

Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20° C a 70° C y sensibilidad de 0.2° C (68° F a 158° F \pm 0.4° F).

Balanzas: Una de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.

Guantes: De soldador para manejar equipo caliente y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.

Crayolas: Para identificar las probetas.

Bandejas metálicas: De fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas de 4 litros (1 galón) de capacidad, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc. [35]

2.1.3 Método Rice

Figura 21. Recipientes de vacío



Fuente: Autor

Recipientes de vacío: Los recipientes de vacío descritos deben ser capaces de soportar todo el vacío aplicado y todos deben estar equipados con los accesorios requeridos por el procedimiento de ensayo que se está aplicando. La abertura del recipiente que permite

instalar la bomba de vacíos debe estar cubierta por un pedazo de malla de 75µm (No. 200) con el fin de minimizar la pérdida de material fino.

Los recipientes de vacío deben tener una capacidad entre 200 y 10000 ml. Se debe evitar utilizar una muestra pequeña en un recipiente grande.

Tazas de vacío: Pueden ser metálicas o plásticas con un diámetro aproximado de 180 a 260 mm (7.1 a 10.2”) y una altura de al menos 1601 mm (6.3”), debe estar equipada con una tapa transparente asegurada con un empaque de caucho y con una conexión para la aplicación del vacío.

Nota 2.- La tapa transparente permite la observación de la salida de las burbujas de aire.

Balanza: Con capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que la gravedad específica de las muestras de mezclas no compactadas para pavimentos, puedan ser calculadas al menos con cuatro cifras significativas (3 decimales).

Para el método de la taza de vacío, la balanza deberá estar equipada con un dispositivo para sostener y permitir pesar la muestra mientras se encuentre suspendida debajo del centro de la balanza.

Bomba de vacío o aspirador de agua: Debe ser tal que pueda evacuar el aire del recipiente de vacío hasta una presión residual de 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos. Cuando se usa una bomba de vacío, una trampa apropiada constituida por uno o más frascos de 100 ml de capacidad o equivalentes, se deben instalar entre el frasco de vacío y la fuente de vacío para reducir la cantidad de vapor de agua que pueda entrar en la bomba.

Manómetro de presión residual o celda de presión absoluta calibrada: Una celda de presión de vacío conectada directamente al frasco de vacío la cual debe ser capaz de medir una presión residual de 4 kPa (30 mm de Hg) o menos (preferiblemente hasta 0),

Baño de agua: Para las tazas de vacío se requiere que el baño de agua sea capaz de mantener la temperatura entre 20° y 30° C (70° y 85° F).

Cuando se emplea la técnica de pesar dentro del agua, se necesita un baño de agua para la inmersión del recipiente suspendido que contiene la muestra desairada.

Válvula de escape: Colocada junto al tren de vacío para facilitar el ajuste del vacío que está siendo aplicado al vaso.

Guantes Protectores: Se usan para coger el equipo de vidrio que está bajo vacío.

Horno: Capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$).

2.1.4 Gravedad Específica de Agregados Gruesos (ripio)

Figura 22. Recipientes de Gravedad específica de agregados gruesos



Fuente: Autor

Recipientes metálicos: De fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas.

Canastilla: Contenedor de muestra, una cesta de alambre de 3.35 mm (N° 6) o malla fina, o una cesta de abertura y altura iguales, con una capacidad de 4 a 7 litros para alojar un tamaño nominal máximo de agregado de 37.5 mm (1 ½”) o menor y una canastilla más grande según se necesite, para ensayar mayores tamaños máximos de agregados.

La canastilla será construida de tal forma que se evite atrapar aire cuando sea sumergida

Tanque de agua: en el cual la canastilla es colocada suspendida debajo de la balanza.

Tamices o mallas, una malla de 4.75 mm (N° 4).

Toalla: toalla o franela para secar los agregados después de haberlos dejado en remojo durante 24 horas.

Balanza mecánica y electrónica: con capacidad de 5 Kg. O más con una precisión de 0.5 o menos.

Horno: Capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$). [36]

2.1.5 Gravedad Específica de Agregados Finos (Arena, Agregados Reciclados)

Figura 23. Recipientes de Gravedad específica de agregados fino



Fuente: Autor

Frasco volumétrico (picnómetro): de 100 a 500 cm³ de capacidad. Un picnómetro de plástico, de vidrio o de metal.

Balanzas: una con capacidad de 1200 g y sensibilidad de 0.01 g, otra con capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.001 g.

Termómetro graduado: con una escala de 0 a 50 °C (32 a 122 °F) y con precisión de 0.1 °C (0.18 °F).

Pipeta: La pipeta es un instrumento volumétrico de laboratorio que permite medir la alícuota de un líquido con mucha precisión. Suelen ser de vidrio o plástico. Está formada por un tubo transparente que termina en una de sus puntas de forma cónica, y tiene una graduación (una serie de marcas grabadas) con la que se indican distintos volúmenes.

Embudo: El embudo es un instrumento empleado para canalizar líquidos y materiales granulares en recipientes con bocas estrechas.

Baño de agua (baño María). Para las tazas de vacío se requiere que el baño de agua sea capaz de mantener la temperatura entre 60°.

Recipientes metálicos: De fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas.

Tamices: de 2.36 mm (N° 8).

Horno o Estufa: capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). [37]

2.1.6 Diseño de Adoquines

Figura 24. Molde de adoquín



Fuente: Autor

Molde. Consistente en un molde hexagonal con una placa de base plana. El molde deberá tener una altura de 14 cm y a la vez este molde se deberá abrir para poder desmoldar fácilmente.

Martillo de Compactación: Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón deslizante de 4536 ± 9 g (10 ± 0.02 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06 ").

Tamices: Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados para la mezcla que se va a diseñar, en nuestro caso la granulometría de ½".

Termómetros blindados: De 9.9° C a 204° C (50° F a 400° F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8° C.

Balanzas: Con capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que la gravedad específica de las muestras de mezclas no compactadas para pavimentos, puedan ser calculadas al menos con cuatro cifras significativas (3 decimales).

Guantes: De soldador para manejar equipo caliente.

Crayolas: Para identificar las probetas.

Bandejas metálicas: De fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipientes, espátulas, etc.

Cocina: Capaz de mantener temperaturas entre 500 y 600° C.

Horno: Capaz de mantener una temperatura de $110^\circ \pm 5^\circ$ C ($230^\circ \pm 9^\circ$ F). Este horno es necesario cuando se ensayan muestras diferentes a mezclas preparadas en el laboratorio usando agregados secos al horno.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.2.1.1 Obtener el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en caliente para la elaboración de adoquines utilizando agregados reciclados y no reciclados

Se tomará en cuenta el porcentaje de cemento asfáltico que posee mediante el ensayo de centrifugado, más un porcentaje óptimo que pueda ayudar a que la mezcla sea homogénea, con agregados nuevos se realizará el método Marshall con sus respectivas gráficas para determinar el porcentaje óptimo que necesitamos para la muestra.

2.2.1.2 Elaborar adoquines de hormigón utilizando agregados reciclados y no reciclados de geometrías convencionales

Se buscará información en varios catálogos que proporcionan adoquines para visualizar geometrías convencionales y tomar en cuenta la mejor geometría que nos pueda servir para compactar con el martillo de compactación Marshall.

2.2.1.3 Determinar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados

Se determinará la resistencia en base a la Norma INEN 1485, esta norma se basa en someter a un adoquín a una carga creciente de compresión, hasta llegar a su falla la cual nos indica que la muestra no puede soportar más carga.

2.2.1.4 Comparar la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente tanto para los fabricados utilizando agregados reciclados, agregados no reciclados y adoquines de hormigón simple

Una vez realizado el ensayo de compresión se debe realizar su respectiva comparación y analizar para el tipo de vía que pueden ser utilizados los adoquines de mezclas asfálticas recicladas.

2.2.1.5 Diseñar la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente

Para encontrar los espesores de cada capa que necesita la estructura del pavimento articulado se utilizara el método descrito en el libro de Alfonso Montejo “Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías”, 2010.

2.2.1.6 Analizar la diferencia en costos de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple

Se realizará un presupuesto referencial de una vía s/n de 8m de ancho y 100m de largo de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple para realizar su respectiva comparación.

2.2.2 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

2.2.2.1 Muestreo de agregados de mezclas asfálticas obtenidas mediante un proceso de fresado

Figura 25. Proceso de cuarteo



Fuente: Autor

La muestra de agregados reciclados se obtuvo mediante un proceso de fresado de la calle Dr. Julio Enrique Paredes (Sector Socavón), después de obtener esta muestra se procede a realizar un proceso de cuarteo para tomar la cantidad necesaria para nuestros ensayos.

2.2.2.2 Determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de la extracción del asfalto. Norma AASHTO T 164 - ASTM D 2172

Figura 26. Extracción del asfalto



Fuente: Autor

- ✓ Realizar el proceso de cuarteo y tomar una muestra considerable.
- ✓ Colocar en el horno a una temperatura de 140° C para obtener una mezcla homogénea.
- ✓ Se debe colocar en el bol la cantidad de muestra necesaria y anotar su peso.
- ✓ Agregar la cantidad de gasolina que sea suficiente para cubrir los agregados que se encuentran en el bol.
- ✓ Poner una botella bajo el tubo de drenaje.
- ✓ Secar en el horno un filtro, pesarlo y colocar alrededor del borde del bol.
- ✓ Cerrar la cubierta y ajustar.
- ✓ Encender la máquina y hacer funcionar aumentando lentamente la velocidad de la máquina centrifuga.

- ✓ Apagar la máquina cuando deje de fluir la gasolina.
- ✓ Abrir la tapa, retirar el papel filtro y cuidadosamente retirar la muestra que se quedan en el filtro para volver a colocarlos en el bol de tal manera que no se pierda ninguna cantidad de muestra.
- ✓ Colocar otra porción de gasolina en el bol para que cubra la muestra, dejar reposar por unos minutos y realizar el mismo procedimiento de lavado.
- ✓ Realizar este proceso las veces necesarias hasta que todo el asfalto sea extraído y la gasolina emerja limpio es decir con su color original.
- ✓ Al terminar de hacer todos los lavados necesarios retirar la tapa, sacar el papel filtro y el bol cuidadosamente para secarlos en el horno a 110° C.
- ✓ Después de secarlos en el horno enfriar una temperatura ambiente tomarles el peso
- ✓ Agitar la botella para tomar una muestra representativa de 100 ml y colocar en un recipiente.
- ✓ Quemar todo el residuo de gasolina hasta dejarlo solo el filler, dejar enfriar y tomar su peso.
- ✓ Se procede a medir la cantidad de gasolina que se obtiene en el lavado y realizar los cálculos correspondientes para saber el porcentaje de asfalto residual que tendremos en nuestra muestra.
- ✓ Con la muestra que nos queda realizar el análisis granulométrico utilizando los tamices 1", ¾", ½", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200, Fuente.
- ✓ Tomar el peso retenido parcial de cada uno de los tamices.
- ✓ Realizar los respectivos cálculos e identificar en qué tipo de granulometría se encuentran nuestros agregados reciclados.

Para determinar el porcentaje de asfalto que tiene la muestra de agregados reciclados se utilizan las siguientes fórmulas:

- ✓ Peso inicial de la muestra W1

$$W1 = PMI - PP$$

- ✓ Peso de la muestra luego de la prueba W2

$$W2 = PMF - PP$$

- ✓ Residuo en 100 cm³ de gasolina

$$C = PFT - PT$$

- ✓ Residuo en cantidad cc de gasolina w₅

$$w_5 = c * \frac{v_1}{v_2}$$

Porcentaje de asfalto % ASF

$$\% ASF = \frac{(W_1 - W_2) - (w_3 - w_4) - w_5}{W_1} * 100$$

Dónde:

- PP = Peso del Plato.
- PMI = Peso del plato más muestra inicial.
- PMF = Peso del plato más muestra final.
- PT = Peso del Tarro.
- PFT = Peso del Tarro + filler.
- W₁ = Peso inicial de la muestra.
- W₂ = Peso de la muestra luego de la prueba.
- PFM = Peso inicial del filtro.
- W₄ = Peso del filtro antes de la prueba.
- W₃ = Peso del filtro luego de la prueba.
- V₁ = Volumen total de gasolina utilizada en ml.
- V₂ = Volumen de gasolina utilizado para cenizas = 100 ml.
- C = Residuo en 100 cm³ de gasolina, cenizas en gr.
- W₅ = Residuo en cantidad cc de gasolina.
- % ASF = Porcentaje de asfalto.

2.2.2.3 Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma MOP – 001 – F – 2002

Figura 27. Método Marshall



Fuente: Autor

Tabla 17. Criterios de Marshall dependiendo el tipo de tráfico

TIPO DE TRÁFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
No. De golpes	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16

Fuente: MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Quito, 2002.

- Para las probetas con mezclas asfálticas en caliente con agregados reciclados se debe tomar una muestra considerable y colocarlos en el horno a 140° C hasta obtener una mezcla homogénea.
- Preparar 3 probetas con mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados sin añadir algún porcentaje de cemento asfáltico, 3 probetas con mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados añadiendo 0.5% de cemento asfáltico, 3 probetas con mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados añadiendo 1% de cemento asfáltico.

- Para las probetas con mezclas asfálticas en caliente con agregados nuevos, se debe tomar una cantidad de agregados y secarlos en el horno a 110° C. separarlos en los tamices dependiendo de los tamaños deseados y de las porciones que se necesitaran para realizar cada probeta.
- Se deberá preparar la mezcla a 140° C y se procede a realizar las 3 probetas con mezcla asfáltica en caliente con agregados no reciclados con cemento asfáltico del 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.
- Cada briqueta deberá tener una cantidad de muestra de aproximadamente 1200 gr
- Se calienta el conjunto de bandeja, el collar, el molde, la placa de base y espátulas a una temperatura 140° C – 150° C.
- Se introduce la mezcla asfáltica en caliente en el interior del molde y se aplican 25 pinchazos 15 alrededor y 10 al azar con una espátula redondeada para eliminar los posibles huecos.
- El molde se coloca en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata de pisón y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del pisón se mantenga siempre vertical.
- Al terminar el número de golpes necesarios, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando la misma cantidad de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra.
- Se retira el molde del pedestal se le quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Se le coloca al molde el collar de extensión y se saca de la probeta compactada, la cual debe identificarse marcándola en cada cara con una crayola.
- Se coloca la probeta sobre una superficie lisa y bien ventilada durante toda la noche
- Se mide su espesor y se toma el peso de la probeta en gramos seca en aire, sumergida en el agua y secada después de haberse sumergido en el agua.
- Para el ensayo de estabilidad y flujo se colocan las probetas en un baño de agua durante 30 minutos, este baño de agua debe tener una temperatura de 60° C.

- Se retira las probetas del baño de agua y se coloca centrada en la mordaza inferior, se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa.
- Se coloca el medidor de flujo en posición, se ajusta a cero y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
- Se aplica la carga sobre la probeta hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego se disminuye, se anota el valor máximo registrado en la máquina de ensayo también se anota la lectura en el medidor de flujo.
- Si el valor del espesor de la probeta es diferente de 63.5 mm el valor registrado de estabilidad Marshall deberá ser corregido por el factor que corresponde a la tabla # 39 que se encuentran en anexos.

2.2.2.3.1 Ensayo de Probetas Compactadas

Cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos:

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

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

- A. Identificación de la probeta.
- B. Porcentaje de cemento asfáltico para un juego de tres probetas, empezando desde el 4.5% hasta llegar al 7% con incrementos de 0.5%.
- C. Espesor de cada probeta en centímetros.
- D. Peso en el aire de la probeta en gramos.
- E. Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca en gramos.
- F. Peso en gramos de la probeta en agua.
- G. Determinación del peso específico “bulk” de las probetas compactadas, que es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables.

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

H. Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire:

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

I. El peso específico máximo medido de una mezcla asfáltica sin vacíos con aire (no compactada), se determina por medio del método desarrollado por James Rice y su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada.

J. Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado:

$$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$$

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

$$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$$

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

$$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$$

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

$$100 - K - L$$

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

$$100 - K$$

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

$$\%CA = \frac{J * \%Agreg}{100}$$

P. Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto:

$$\frac{N - L}{N} * 100$$

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

R. Se registra el factor de corrección que depende del espesor de las probetas, de acuerdo a la Tabla N° 39

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

$$Q * R$$

- Q = Factor de corrección por espesor de la probeta.
- R = Valor correspondiente a la estabilidad en libras.

Representa el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briqueta desde el inicio de la carga, hasta que se consigue la máxima, viene expresado en centésimas de pulgada. [38]

2.2.2.3.2 Realización del ensayo Rice para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma I.N.V.E 735 – 07

Figura 28 .Ensayo Rice



Fuente: Autor

- Una vez realizado el ensayo Marshall se procede a colocar la muestra en el horno a 140° C. hasta que la muestra esté completamente disgregada, dejarla enfriar a temperatura ambiente.
- Colocar la muestra en la taza de vacíos, se procede a pesar dicha muestra y se agrega agua hasta cubrir la muestra completamente.
- Con la ayuda de guantes disgregar la muestra sin que exista pérdida de esta muestra.
- Ubicar esta taza de vacíos correctamente con todos los accesorios necesarios para poder realizar el ensayo.
- Remover el aire atrapado en la muestra aplicando incrementos graduales de vacío aproximadamente a 2 o 3 min, hasta llegar a completar 15 min, la presión residual del manómetro debe indicar 8 Kpa.
- Llenar con agua la taza de vacíos hasta que las burbujas de aire desaparezcan, proceder a pesar esta muestra.

- Realizar los cálculos respectivos para obtener su peso específico máximo mediante las siguientes fórmulas.

Para calcular la gravedad específica máxima (Gmm) se tiene:

- ✓ Peso de la muestra A

$$A = C - B$$

- ✓ Gravedad específica máxima Gmm

$$Gmm = \frac{A}{A - (E - D)}$$

Dónde:

- A = Peso de la muestra.
- B = Peso del frasco.
- C = Peso de la muestra + frasco.
- D = Peso del frasco + agua a 25 C.
- E = Peso de la muestra + frasco + agua a 25 C.
- Gmm = Gravedad específica máxima.

2.2.2.3.3 Gravedad específica de agregados gruesos (ripió) INEN 857

- Dejar 24 horas remojada en agua la muestra de agregado grueso.
- Sacar la muestra de remojo y poner la misma en un recipiente metálico.
- Secar el agua superficial de la muestra con una franela.
- Usando la balanza mecánica, pesar la canastilla al aire.
- Poner la muestra de ripio en la canastilla y pesar el conjunto.
- Pesar la canastilla + ripio en el agua.
- Pesar los recipientes metálicos.
- Tomar muestras de ripio en los recipientes, pesar los mismos y secarlos usando un horno.
- Luego de 24 horas retirar los recipientes del horno y registrar sus pesos.

La gravedad específica de los agregados gruesos se calcula de la siguiente manera:

- Peso del suelo seco A

$$A = m5 - m6$$

- Peso del suelo S.S.S en el aire B

$$B = m1 - m4$$

- Peso del suelo S.S.S en el agua C

$$C = m3 - m4$$

- Densidad aparente de los sólidos D

$$D = \frac{A * K}{B - C}$$

- Gravedad específica Gs

$$Gs = \frac{A * K}{A - C}$$

Dónde:

m1 = peso canastilla + suelo S.S.S. en el aire.

m2 = peso canastilla en el aire.

m3 = peso canastilla + suelo S.S.S en el agua.

m4 = Peso de la canastilla sumergida.

m5 = peso del recipiente + suelo seco.

m6 = peso del recipiente.

m7 = temperatura del agua más suelo seco en °C.

A = Peso del suelo seco.

B = peso del suelo S.S.S en el aire.

C = Peso del suelo S.S.S en el agua.

D = Densidad aparente de los sólidos.

K = factor de corrección por temperatura.

Gs = Gravedad específica.

2.2.2.3.4 Gravedad Específica de Agregados Finos (Arena, Agregados Reciclados) INEN 856

Figura 29. Ensayo de Gravedad Específica



Fuente: Autor

- Usar un picnómetro calibrado y pesarlo.
- Agregar agua en el picnómetro hasta la marca de aforo.
- Pesar el picnómetro + agua y tomarle la temperatura, debe tener 20 a 25°C.
- Tomar una muestra de 50 gr de agregados finos.
- Con un embudo ingresar la muestra y retirar el agua con la ayuda de una pipeta, hasta que se quede en la línea de aforo.
- Mezclar varias veces y tomarle el peso.
- Calentar el agua a baño maría hasta obtener una temperatura de 60°C.
- Colocar el picnómetro por 15 min para retirar todos los vacíos que contiene.
- Remover el picnómetro hasta retirar todas las burbujas.
- Dejar enfriar hasta que llegue a la temperatura de 19 - 25°C.
- Tomar el peso y colocar en un recipiente metálico.
- Luego de 24 horas retirar los recipientes del horno y registrar sus pesos.

Se obtiene el valor de la gravedad específica de los agregados finos mediante:

- Peso del suelo seco W_s

$$w_s = m_1 - m_2$$

- Peso del suelo seco + Picnómetro + agua m_3

$$m_3 = W_s + W_{bw}$$

- Desplazamiento del agua d_w

$$d_w = w_s + w_{bw} - w_{bws}$$

- Gravedad específica de los agregados gruesos G_s

$$G_s = \frac{w_s}{w_s + w_{bw} - w_{bws}}$$

Dónde:

m_1 = peso del recipiente + suelo seco.

m_2 = peso del recipiente.

w_s = peso del suelo seco.

w_{bw} = picnómetro + agua.

w_{bws} = picnómetro + agua + suelo.

d_w = desplazamiento del agua.

k = factor de corrección por temperatura.

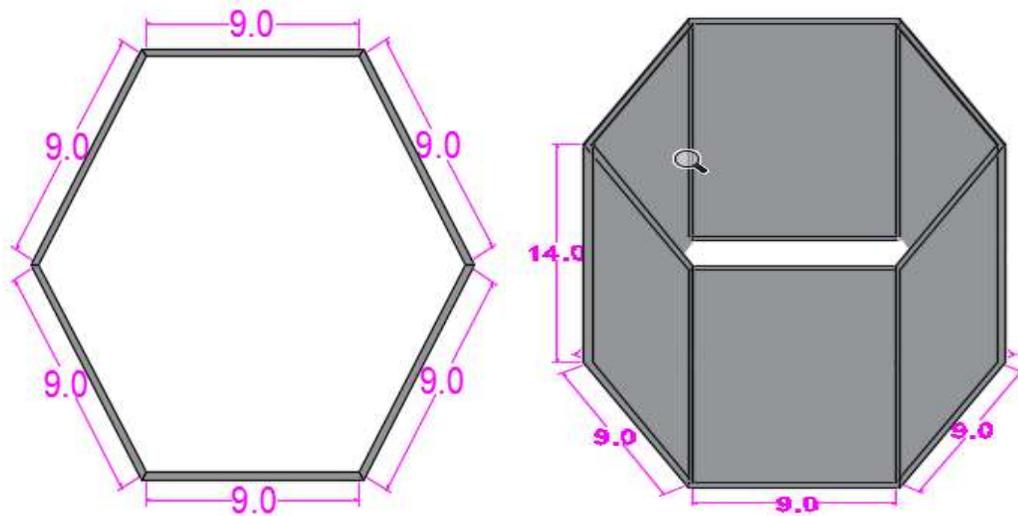
t = temperatura.

G_s = peso específico de los agregados.

2.2.2.4 Elaboración de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados, y adoquines de hormigón

Realizar moldes hexagonales con medidas y ángulos iguales, estos moldes serán diseñados de tol y cada uno de sus lados será de 9 cm con una altura de 14 cm para colocar una muestra considerable para diseñar adoquines de 8 cm de alto.

Figura 30. Moldes diseñados de tol



Fuente: Autor

- Preparar una mezcla asfáltica en caliente con agregados reciclados agregando un porcentaje de 0.5% de cemento asfáltico y colocar aproximadamente 3400 gr en el molde para fabricar un adoquín de 8 cm de alto, compactar con una varilla de punta redondeada dándole 25 pinchazos 15 alrededor y 10 en el centro, luego compactarle con 75 golpes con el martillo compactador tratando que se compacte a los extremos, girar el molde y compactar otros 75 golpes, retirar del molde y dejarlos enfriar, con una crayola diferenciar cada adoquín.
- Preparar una mezcla asfáltica en caliente con agregados nuevos con un porcentaje de cemento asfáltico óptimo que se encontrara al realizar el ensayo Marshall, y colocar en el molde aproximadamente 3400 gr para obtener adoquines de 8cm de altura repetir el procedimiento que se realizara con agregados reciclados.
- Realizar una mezcla de hormigón de 210kg/cm² pesado de acuerdo a las dosificaciones que se indica en la tabla 57, colocar la cantidad necesaria en los moldes de adoquines, dejar secar por 24 horas, desmoldar y colocar en agua por 28 días.

2.2.2.5 Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.

Figura 31. Ensayo a la Resistencia a la compasión



Fuente: Autor

Los adoquines realizados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados se deberá desmoldar a las 2 hora de haberle realizado y dejar secar por 24 horas y se procede a realiza el ensayo de resistencia a la compresión.

Los adoquines realizados con hormigón simple se deben desmoldar al siguiente día y dejarlos en agua por 28 días para realizar el respectivo ensayo a compresión.

2.2.2.6 Comparar la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple Norma NTE INEN 1485

Se realizará un promedio de los resultados de la resistencia de compresión entre adoquines de igual dosificación, se procederá a comparar los resultados entre adoquines convencionales, adoquines con agregados reciclados y adoquines con agregados no reciclados.

2.2.2.7 Diseño de la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente

Al obtener los resultados de la resistencia a la compresión Se determinara cuál es el adoquín óptimo, para realizar el diseño de la estructura de una pavimento articulado, el cual se utilizará el método descrito en el libro de Alfonso Montejo “Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías”, 2010.

2.2.2.8 Análisis de costos de pavimentos articulados con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple

- ✓ Se analizará el precio de cada uno de los adoquines elaborados con mezclas asfálticas en caliente ya sean con agregados reciclados y agregados no reciclados.
- ✓ Se realizara rubros de replanteo y nivelación, de subrasante, sub base, base, adoquines y bermas para obtener el presupuesto referencial de una vía s/n de 8m de ancho y 100 m de largo de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple para realizar su respectiva comparación.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1.1 Obtención de mezclas asfálticas recicladas mediante un proceso de fresado

Tabla 18. Coordenadas del lugar que se obtuvo las muestras

COORDENADAS DE LA CALLE DR. JULIO ENRIQUE PAREDES		
	ESTE	SUR
INICIO DE LA CALLE	765023.00	9863661.00
FINAL DE LA CALLE	764923.00	9864091.00

Fuente: Autor

La obtención de la muestra de agregados reciclados se realizó mediante un proceso de fresado de la calle Dr. Julio Enrique Paredes (Sector Socavón) pertenecientes al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua, después de obtener esta muestra se realizó un proceso de cuarteo, en el cual se tomó una muestra representativa dividiéndole en 4 partes y desechando 2 partes que son las opuestas por el vértice, nuevamente se juntan las 2 partes sobrantes y se realiza el mismo procedimiento hasta finalmente obtener la muestra que necesitamos para proceder a realizar los respectivos ensayos.

3.1.2 Determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de extracción de asfalto. Norma AASHTO T 164 - ASTM D 2172

Tabla 19. Ensayo de Extracción de asfalto

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 			
Ensayado por: Katherin Aysabucha			
Tutor: Ing. Favio Portilla			
Norma: AASHTO T-164			
ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO (NORMA AASHTO T-164)			
Muestra	1	2	3
Peso inicial de la muestra (w1)	1119,6	742,5	762,6
Peso de la muestra luego de la prueba (w2)	994,7	662,6	676,3
Peso inicial del filtro (PT)	16,41	18,29	18,97
Peso del filtro luego de la prueba (PFT)	23,8	21,8	22,2
Residuo en 100 cm ³ de gasolina (C)	0,6	0,8	0,8
Residuo en cantidad cc de gasolina (w5)	52,0	33,0	38,8
% asfalto	5,85	5,84	5,81
Promedio	5,83		

Fuente: Autor

CÁLCULOS MUESTRA # 1

- PP = 2434.6 gr
 - PMI = 3554.2 gr
 - PMF = 3429.3 gr
 - PT = 16.41 gr
 - PFT = 23.8 gr
 - PT = 26 gr
 - V1= 8670 gr
- ✓ Peso inicial de la muestra w1

$$w1 = PMI - PP$$

$$w1 = 3554.2 \text{ gr} - 2434.6 \text{ gr}$$

$$w1 = 1119.6 \text{ gr}$$

- ✓ Peso de la muestra luego de la prueba w2

$$w2 = PMF - PP$$

$$w2 = 3429.3 \text{ gr} - 2434.6 \text{ gr}$$

$$w2 = 994.7 \text{ gr}$$

- ✓ Residuo en 100 cm³ de gasolina C

$$C = PFT - PT$$

$$C = 26.6 \text{ gr} - 26 \text{ gr}$$

$$C = 0.6 \text{ gr}$$

- ✓ Residuo en cantidad cc de gasolina w5

$$w5 = c * v1/100$$

$$w5 = 0.6 \text{ gr} * 8670 \text{ gr} / 100$$

$$w5 = 52 \text{ gr}$$

- ✓ Porcentaje de asfalto % ASF

$$\% ASF = \frac{(w1 - w2) - (w3 - w4) - w5}{w1} * 100$$

$$\% ASF = \frac{(1119.6 \text{ gr} - 994.7 \text{ gr}) - (23.8 \text{ gr} - 16.41 \text{ gr}) - 52 \text{ gr}}{1119.6 \text{ gr}} * 100$$

$$\% ASF = 5.85$$

- ✓ Promedio de % Asfalto

$$Promedio \% ASF = \frac{\% ASF1 + \% ASF2 + \% ASF3}{3}$$

$$Promedio \% ASF = \frac{5.85 \text{ gr} + 5.84 \text{ gr} + 5.81 \text{ gr}}{3}$$

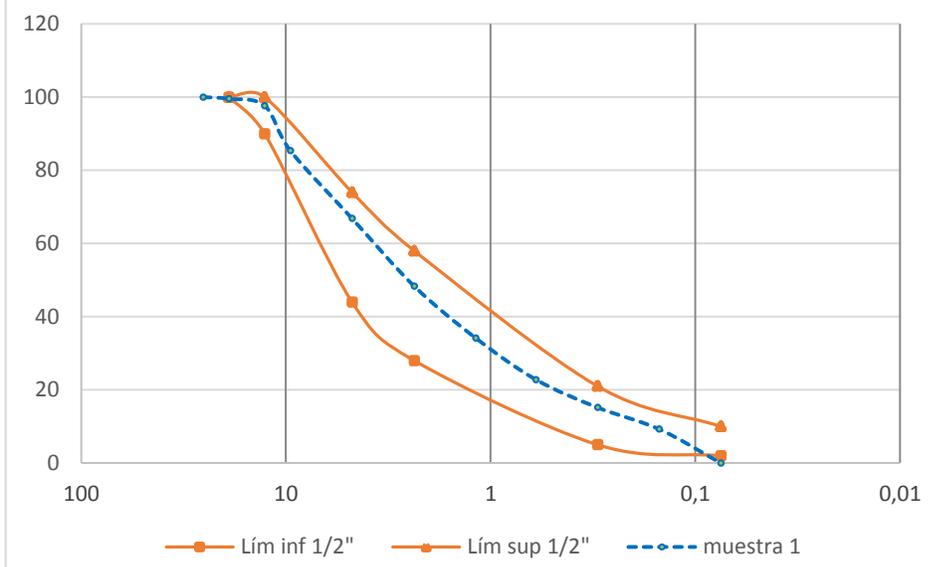
$$Promedio \% ASF = 5.83 \text{ gr} \approx 5.8 \text{ gr}$$

Al realizar el ensayo del contenido de asfalto se obtuvo un porcentaje de asfalto de la muestra #1= 5.85%, de la muestra #2 = 5.84% y de la muestra #3= 5.81% de asfalto, se realizó un promedio obteniéndose así 5.83%, al obtener este valor se llegó a la conclusión, que los agregados reciclados posee una buena cantidad de cemento asfáltico, por esta razón el porcentaje adicional de cemento asfáltico necesario para diseñar probetas, es de tan solo 0.5% y 1% representando valores mínimos en gramos, que se utilizará para encontrar el porcentaje óptimo con el que se realizará los adoquines de asfalto reciclado.

Tabla 20. Análisis Granulométrico Muestra #1

		Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil				
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
NORMA: MOP – 001 – F 2002						
GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS RECICLADOS MUESTRA 1						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	LÍMITE ASTM % QUE PASA	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1	25,4	100-100				
3/4"	19	90-100	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	90-100	4,6	4,6	0,46	99,54
3/8"	9,5	56-80	18,8	23,4	2,36	97,64
No.4	4,75	35-65	122,2	145,6	14,67	85,33
No.8	2,36	23-49	183,8	329,4	33,18	66,82
No.16	1,18	40-80	183,7	513,1	51,68	48,32
No.30	0,6	26-65	140,9	654	65,87	34,13
No.50	0,3	5-19	112,4	766,4	77,20	22,80
No.100	0,15	3-20	75,8	842,2	84,83	15,17
No.200	0,075	2-8	58,6	900,8	90,73	9,27
FUENTE			92	992,8		
PESO TOTAL			992,8			

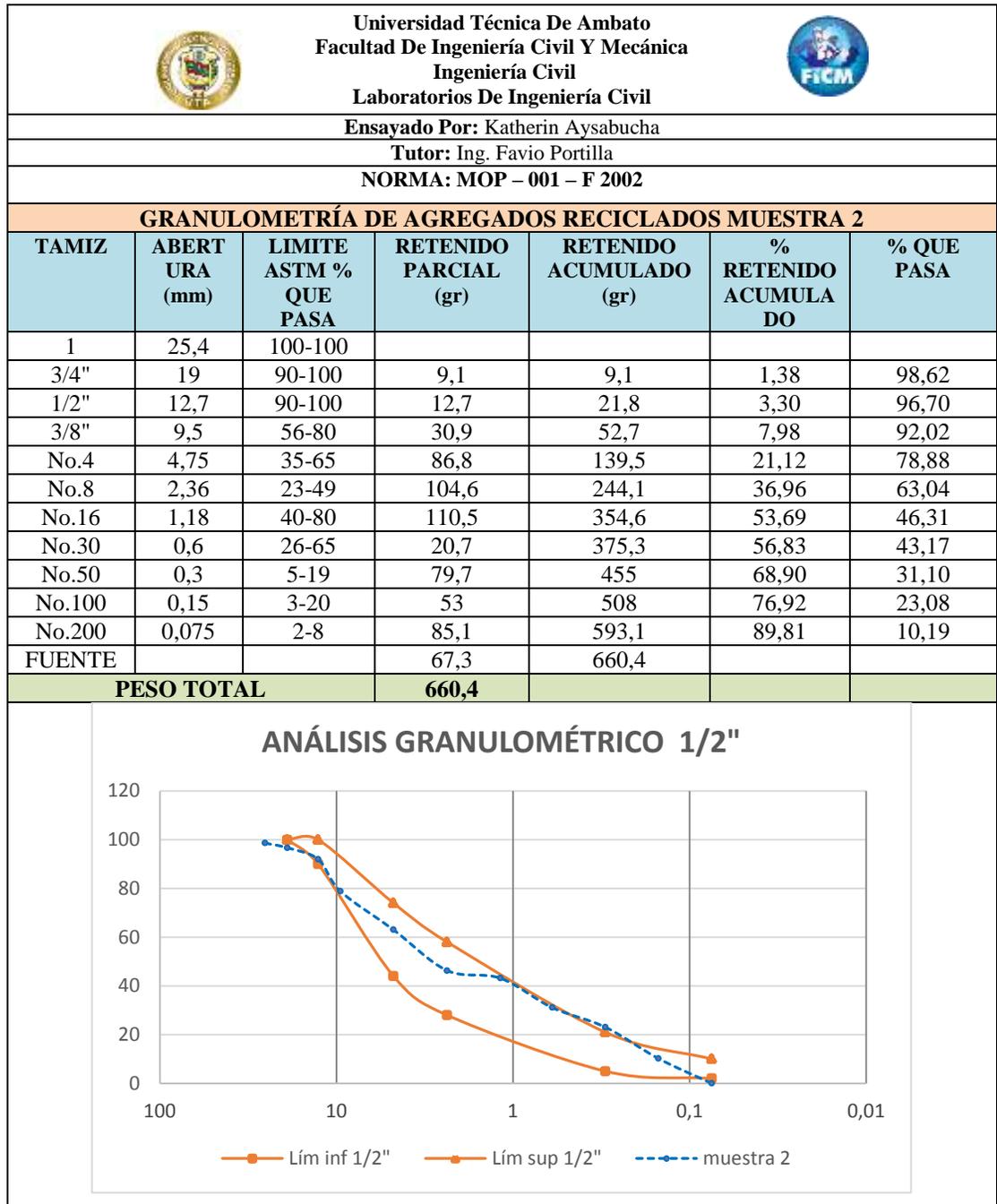
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 1/2"



El gráfico muestra el porcentaje de material retenido versus el tamaño de partícula (mm) en una escala logarítmica. Se comparan los límites superior e inferior para el tamiz 1/2" con los resultados de la muestra 1. El eje horizontal representa el tamaño de partícula en mm (de 100 a 0,01) y el eje vertical representa el porcentaje de material retenido (de 0 a 120). La línea azul discontinua (muestra 1) muestra un comportamiento similar al límite superior (línea naranja sólida con triángulos) para tamaños de partícula mayores que 10 mm, pero se desvía hacia abajo para tamaños menores que 10 mm, quedando por debajo del límite inferior (línea naranja sólida con cuadrados) en la mayoría de los puntos.

Fuente: Autor

Tabla 21. Análisis Granulométrico Muestra #2



Fuente: Autor

Tabla 22. Análisis Granulométrico Muestra #3

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
Norma: MOP – 001 – F 2002						
GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS RECICLADOS MUESTRA 3						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	LIMITE ASTM % QUE PASA	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1	25,4	100-100				
3/4"	19	90-100	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	90-100	4,6	4,6	0,68	99,32
3/8"	9,5	56-80	26,8	31,4	4,66	95,34
No.4	4,75	35-65	61,7	93,1	13,81	86,19
No.8	2,36	23-49	104,2	197,3	29,26	70,74
No.16	1,18	40-80	120,5	317,8	47,14	52,86
No.30	0,6	26-65	103	420,8	62,41	37,59
No.50	0,3	5-19	85,4	506,2	75,08	24,92
No.100	0,15	3-20	61,7	567,9	84,23	15,77
No.200	0,075	2-8	52,6	620,5	92,04	7,96
FUENTE			53,7	674,2		
PESO TOTAL			674,2			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 1/2"

El gráfico muestra el porcentaje de material retenido versus el tamaño de partícula (mm) para el tamiz 1/2". El eje horizontal (X) representa el tamaño de partícula en milímetros en una escala logarítmica, con valores de 100, 10, 1, 0,1 y 0,01. El eje vertical (Y) representa el porcentaje de material retenido, con valores de 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120. Se muestran tres curvas: una línea naranja sólida con marcadores cuadrados que representa el límite inferior (Lím inf 1/2"), una línea naranja sólida con marcadores triángulos que representa el límite superior (Lím sup 1/2"), y una línea azul punteada con marcadores triángulos que representa los datos de la muestra 3. La muestra 3 se encuentra dentro de los límites especificados para el tamiz 1/2".

Fuente: Autor

Una vez obtenido un promedio del porcentaje de asfalto en las 3 muestras se procedió a realizar un análisis granulométrico utilizando los tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200. Este análisis granulométrico nos permite estudiar los tamaños de las partículas que tienen los agregados reciclados determinando un tamaño Máximo (TM) de 3/4" que vienen a ser el último tamiz que deja pasar el 100% y un tamaño nominal máximo (TNM) que viene a ser el primer tamiz que retiene el 5% o más del material.

Al determinar el tamaño máximo se obtiene una granulometría de 1/2" a la vez nos indica que estos agregados están constituidos de arena gruesa, mediana y pequeña.

3.1.3 Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma MOP – 001 – F – 2002

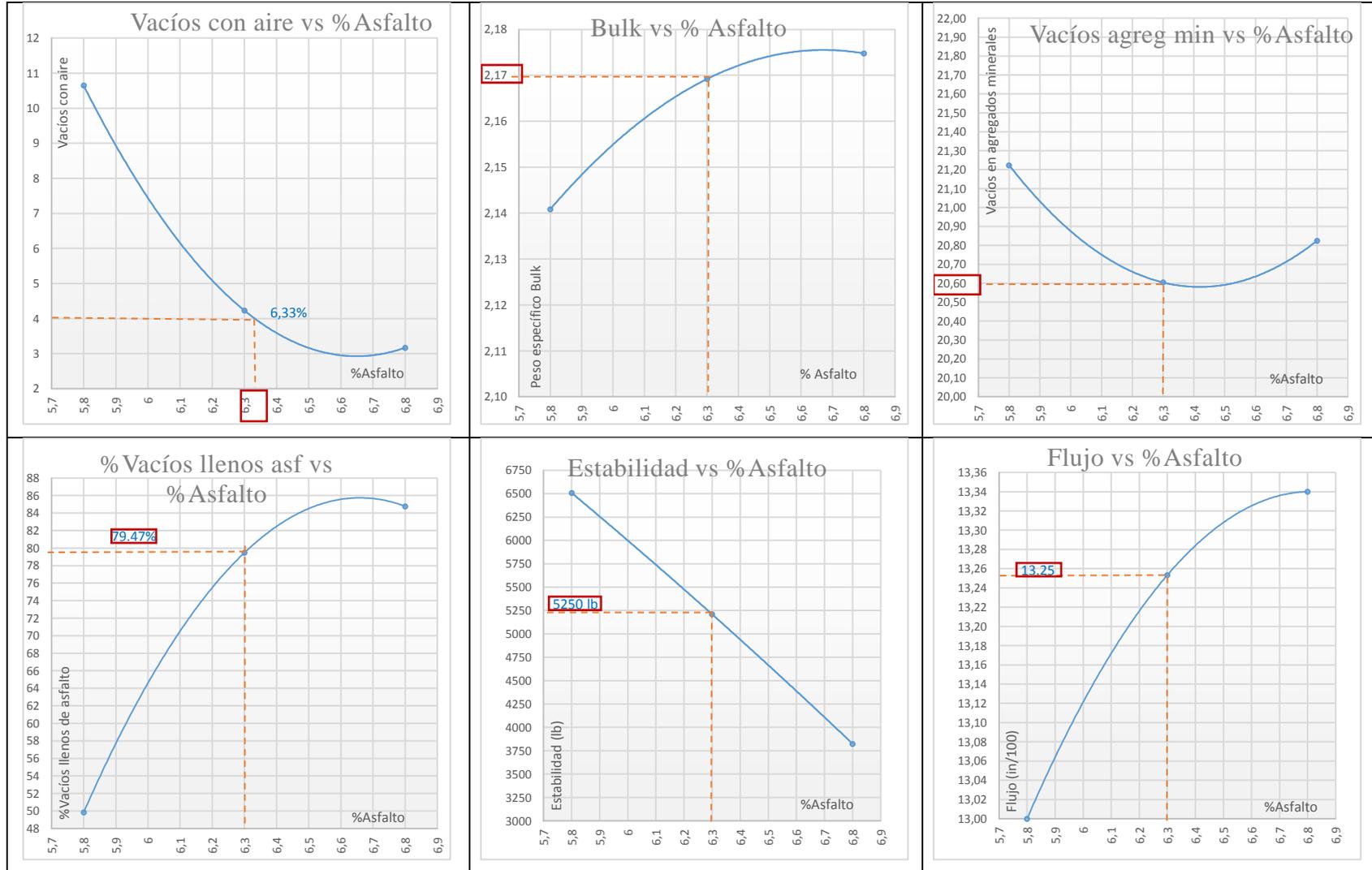
Agregados Reciclados

Tabla 23. Tabla Método Marshall de agregados reciclados

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA						2,56	g/cm ³			PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):			1,0239	g/cm ³			N golpes	75	
MUE	CEMEN	ESPEJOR	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)			ASFALTO	VOLUMEN-% TOTAL			VALOR EN	% DE	% VACIOS	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO
STRA	TO	PROBETA	SECA	SSS EN	AGUA	bulk (Gb)	MÁXIMO	MÁXIM	ABSORBID	AGREGAD	VACÍOS	ASFALTO	AGREGAD	ASFALTO	LLENOS DE	LECTUR	FACTORES	ESTABILIDA	
No.	ASFÁLTI	(cm)	EN	AIRE		G	TEÓRICO	O	O %	O	CON	EFFECTIV	OS	EFFECTIVO	ASFALTO	A DIAL	CORRECCI	D	in/100
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Aggr}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Métod o Rice	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I \times H \times \%Aggreg}$	$\frac{\%Aggreg \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{7}\right) \times 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J \times \%Aggreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			QxR	
1	5,8	5,00	862,3	862,7	462,1	2,153										4942	1,515	7487,1	10,000
2		5,80	1002,6	1002,9	538,4	2,158										6066	1,165	7066,9	14,000
3		5,60	958,8	959,3	516,5	2,165										4729	1,235	5840,3	14,000
4		5,20	897,3	897,8	477,1	2,133										4840	1,410	6824,4	14,000
5		5,50	921,0	921,5	491,0	2,139										5086	1,276	6489,7	12,000
6		5,50	925,7	925,8	489,3	2,121										5024	1,276	6410,6	13,000
7		7,10	1197,2	1197,6	632,0	2,117										6487	0,839	5442,6	14,000
	94,2					2,141	2,355	2,396	0,770	78,78	10,65	10,57	21,22	5,08	49,82			6508,81	13,00
1	6,3	6,80	1163,3	1163,5	630,1	2,181										5612	0,898	5039,6	13,500
2		6,90	1194,6	1194,9	645,1	2,173										6695	0,877	5871,5	12,260
3		6,90	1195,2	1195,3	640,4	2,154										5380	0,877	4718,3	14,000
	93,7					2,169	2,339	2,265	-1,489	79,40	4,23	16,37	20,60	7,69	79,47			5209,78	13,25
1	6,8	7,20	1195,9	1196,2	640,5	2,152										4164	0,824	3431,1	13,910
2		7,20	1158,1	1158,5	630,6	2,194										3637	0,824	2996,9	13,910
3		7,10	1190,5	1190,7	638,9	2,157										6012	0,839	5044,1	12,200
	93,2					2,168	2,323	2,246	-1,584	78,92	3,48	17,60	21,08	8,28	83,48			3824,03	13,34

Fuente: Autor

Gráfica 1. Método Marshall con agregados reciclados

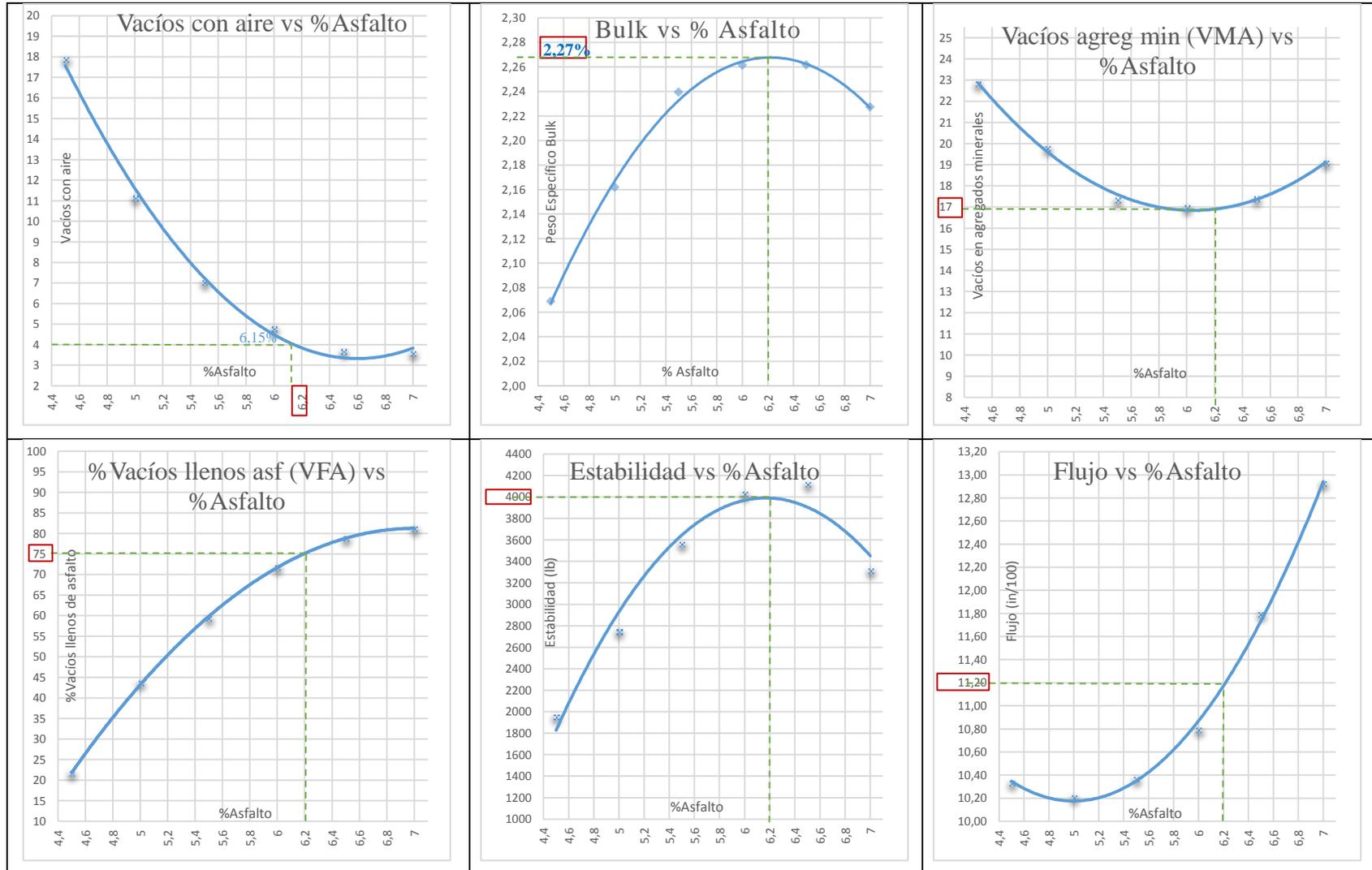


Agregados Nuevos

Tabla 24. Tabla Marshall de agregados reciclados

PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS PARA						2,56	g/cm ³			PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO (Gasf):			1,0239	g/cm ³			N de golpes	75	
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN-% TOTAL			VALOR EN	% DE	% VACIOS LLENOS DE	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO in/100
			SECA EN	SSS EN AIRE	AGUA	bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO		AGREGADO	VACÍOS CON	ASFALTO EFECTIVO	AGREGADOS	ASFALTO EFECTIVO	ASFALTO	LECTURAS	FACTORES CORRECCIONALES	ESTABILIDAD	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Aggr}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	Método Rice	$\frac{(I-H) \times 10^4}{IxH \times \%Aggr}$	$\frac{\%Aggr \times G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{T}\right) \times 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{Ix \times \%Aggr}{100}$	$\frac{N-L}{N} \times 100$			QxR	
1,1	4,5	7,10	983,9	991,7	494,4	1,978										2291	0,839	1922,1	7,870
1,2		6,40	955,2	961,4	486,2	2,010										2012	0,988	1987,9	12,790
1,3		5,90	878,2	880,7	484,7	2,218										1549	1,134	1756,6	10,350
	95,5					2,069	2,398	2,519	2,096	77,17	17,87	4,95	22,83	2,54	21,69			1955,00	10,33
2,1	5	6,20	925,8	928,3	491,4	2,119										1947	1,040	2024,9	10,940
2,2		6,00	884,3	890,0	479,9	2,156										2894	1,103	3192,1	10,040
2,3		5,80	879,1	882,9	485,2	2,210										2599	1,165	3027,8	9,640
	95					2,162	2,381	2,433	0,938	80,23	11,14	8,63	19,77	4,12	43,65			2748,27	10,21
3,1	5,5	7,20	1164,9	1168,2	602,4	2,059										3980	0,824	3279,5	14,760
3,2		6,30	1036,1	1038,5	580,2	2,261										4656	1,013	4716,5	9,500
3,3		6,10	964,4	967,2	565,2	2,399										2506	1,071	2683,9	6,840
	94,5					2,240	2,338	2,409	1,337	82,67	7,03	10,30	17,33	4,25	59,41			3559,99	10,37
4,1	6	5,80	971,8	973,6	580,4	2,472										3387	1,165	3945,9	9,260
4,2		6,20	1061,4	1064,5	581,2	2,196										4560	1,04	4742,4	14,050
4,3		7,00	1112,5	1115,2	589,5	2,116										3960	0,858	3397,7	9,060
	94					2,261	2,349	2,375	0,504	83,03	4,79	12,18	16,97	5,53	71,79			4028,65	10,79
5,1	6,5	5,40	905,6	908,4	546,1	2,500										3590	1,32	4738,8	7,890
5,2		6,60	1108,1	1110,7	553,8	1,990										4557	0,943	4297,3	14,040
5,3		5,90	969,0	972,7	550,6	2,296										2936	1,134	3329,4	13,450
	93,5					2,262	2,333	2,348	0,302	82,60	3,68	13,72	17,40	6,22	78,86			4121,83	11,79
6,1	7	6,50	1079,0	1080,0	605,1	2,272										3617	0,963	3483,2	11,710
6,2		6,30	1055,2	1054,5	601,5	2,329										3431	1,013	3475,6	12,910
6,3		7,00	1156,1	1157,5	601,8	2,080										3470	0,858	2977,3	14,160
	93					2,227	2,317	2,310	-0,135	80,91	3,58	15,51	19,09	7,13	81,24			3312,01	12,93

Gráfica 2. Método Marshall con agregados no reciclados



- **Análisis: Vacíos con Aire vs % Asfalto**

Es necesario que todas las mezclas compactadas tengan un porcentaje de vacíos, ya que esto ayuda a que el asfalto se acomode cuando se someta a cargas.

El porcentaje de vacíos rellenos de asfalto debe encontrarse en un promedio de 3-5% para determinar el porcentaje de asfalto con el que se va a trabajar. Se deberá trazar una línea perpendicular a los valores de los límites de vacíos de aire, el cual es el 4%, hasta llegar a la curva, posteriormente se traza una línea recta desde la curva para poder visualizar el valor obtenido.

En las gráficas de Vacíos con Aire vs % Asfalto se observa que al tener agregados reciclados encontramos un valor de 6.3% de cemento asfáltico, y al tener agregados nuevos se debe realizar con 6.2% de cemento asfáltico, Cabe recalcar que en agregados reciclados existe un porcentaje de cemento asfáltico inicial de 5.8% el cual será necesario aumentar tan solo el 0.5%. Se debe mencionar que si existen porcentajes altos de vacíos en la mezcla podríamos tener canales y de esta manera el agua y el aire entrarían fácilmente ocasionando deterioro, si existe bajo contenido del porcentaje de vacíos se puede presentarse exudación, por lo que es necesario que los vacíos se encuentren dentro del rango que es 3% - 5%.

- **Análisis: Porcentaje de Vacíos de Agregados Minerales vs % Asfalto**

Una vez obtenidos los valores del porcentaje de cemento asfáltico a utilizarse tanto en agregados reciclados como en agregados no reciclados, se debe proceder a trazar una línea recta desde los porcentajes obtenidos para encontrar los valores de vacíos de agregados minerales que tendrá la mezcla.

El porcentaje de vacíos de los agregados minerales (VMA) se determina mediante el tamaño máximo nominal de las partículas este (TMN) es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor cantidad de agregado, en este caso ½" o 12.5 mm, el porcentaje de diseño de vacíos de aire lo consideramos el 4%, siendo así el porcentaje mínimo VMA de 14%, de esta manera llega a cumplir ya que según la gráfica de agregados reciclados se obtuvo 20.60% y de agregados nuevos 17%.

- **Análisis: Peso Específico Bulk vs % Asfalto.**

Se debe considerar que el valor obtenido de la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada Bulk será el estimado que tendrá la mezcla asfáltica después de un tiempo de haberse colocado el pavimento, debido a que seguirá sufriendo densificación por el paso de vehículos, este valor es la relación entre su peso en el aire y su volumen, el cual se encontró en agregados reciclados 2.17 y para agregados nuevos 2.27.

- **Análisis: % de vacíos llenos de asfalto vs % Asfalto**

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto debe encontrarse en un rango de 60% - 80% esto es considerado para tráfico pesado. En la gráfica de porcentaje de vacíos llenos de asfalto para agregados reciclados se encontró un valor de 79%, el cual nos indica que se encuentra del rango, de no ser así se debería disminuir el porcentaje de cemento asfáltico.

En la gráfica que se utilizaron agregados nuevos se obtuvo 75% de vacíos llenos de asfalto, como se puede observar la gráfica aumenta acorde va aumentando el porcentaje de asfalto utilizado, al tener el 6.2% de cemento asfáltico se determinó un porcentaje de vacíos llenos de asfalto óptimo que se encuentra en el rango.

- **Análisis: Estabilidad vs % Asfalto**

En las gráficas se observa claramente que mientras mayor porcentaje de asfalto posee, existe menor estabilidad, la estabilidad debe tener la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito, al tener estabilidades muy altas produce que el pavimento sea demasiado rígido el cual es menos durable.

Las briquetas fueron diseñadas para tráfico pesado por la cual se realizó una compactación de 75 golpes en sus dos caras, por lo tanto, la estabilidad debe ser mínimo de 1800 lb, siendo así que el diseño con 6.2% de asfalto tiene una estabilidad de 4000 lb, y según las probetas de agregados reciclados se llegó a obtener una estabilidad Marshall de 5250 lb, la cual se concluyó que las mezclas con agregados reciclados tienen mayor estabilidad.

- **Análisis: Flujo % Asfalto de (Agregados reciclados)**

El flujo para tráfico pesado debe estar en el rango de 8 a 14", según el porcentaje de 6.2% de cemento asfáltico se obtuvo 11.10" siendo óptimo por estar dentro del rango, de igual manera para los de agregados reciclados se obtuvo 13.26", cabe recalcar que a

medida que aumenta el porcentaje de cemento asfáltico el flujo va creciendo, sin embargo, todas las muestras se encuentran dentro de los límites establecidos

3.1.3.1 Realización del ensayo Rice para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma I.N.V.E 735 – 07

Tabla 25. Determinación Rice de agregados reciclados

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 			
Ensayado Por: Katherin Aysabucha			
Tutor: Ing. Favio Portilla			
Norma: I.N.V.E 735 – 07			
DETERMINACIÓN RICE GMM AGREGADOS RECICLADOS			
	5,80%	5,8%+0,5%	5,8%+1%
D Peso frasco+agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5
B Peso frasco	2907,4	2907,4	2907,4
C Peso muestra + frasco	4461,9	4560,7	4535,1
A Peso muestra	1254,5	1653,3	1627,7
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8312,3	8329,8	8309,5
Gmm = A/A-(E-D)	2,396	2,265	2,246

Fuente: Autor

NOMENCLATURA:

- A = Peso de la muestra.
- B = Peso del frasco.
- C = Peso de la muestra + frasco.
- D = Peso del frasco + agua a 25 C.
- E = Peso de la muestra + frasco + agua a 25 C.
- Gmm = Gravedad específica máxima teórica.

CÁLCULO TÍPICO MUESTRA 1: AGREGADOS RECICLADOS SIN NINGÚN PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO

$$B = 2907.4 \text{ gr}$$

$$C = 4461.9 \text{ gr}$$

$$D = 7406.5 \text{ gr}$$

$$E = 8312.3 \text{ gr}$$

✓ Peso de la muestra A

$$A = C - B$$

$$A = 4461.9 \text{ gr} - 2907.4 \text{ gr}$$

$$A = 1254.5 \text{ gr}$$

✓ Gravedad específica máxima teórica Gmm

$$Gmm = \frac{A}{A - (E - D)}$$

$$Gmm = \frac{1254.5 \text{ gr}}{1254.5 \text{ gr} - (8312.3 \text{ gr} - 7406.5 \text{ gr})}$$

$$Gmm = 2.396 \text{ gr}$$

En la tabla # 25 de los agregados reciclados se encuentran los valores de la Gravedad específica máxima teórica Gmm, para el porcentaje inicial de cemento asfáltico de 5.80% que tiene estos agregados reciclados: se determinó Gmm= 2.396, aumentando 0.5% de cemento asfáltico se obtuvo Gmm= 2.265, y a aumentar 1% de cemento asfáltico se obtuvo Gmm= 2.246 se puede notar que mientras más porcentaje de cemento asfáltico exista el valor de la gravedad específica Máxima teórica será menor.

Tabla 26. Determinación Rice de agregados nuevos

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
Norma: I.N.V.E 735 – 07						
DETERMINACIÓN RICE GMM AGREGADOS NUEVOS						
	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%	7,00%
D Peso frasco+agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
B Peso frasco	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4
C Peso muestra + frasco	4439,4	4543,5	4505,3	4565	4567,8	4502,6
A Peso muestra	1532	1636,1	1597,9	1657,6	1660,4	1595,2
E Peso muestra +frasco+agua a 25°C	8330,3	8370,2	8341,1	8366,2	8359,8	8311,2
Gmm = A/A-(E-D)	2,519	2,433	2,409	2,375	2,348	2,310

Fuente: Autor

NOMENCLATURA:

- A = Peso de la muestra.
- B = Peso del frasco.
- C = Peso de la muestra + frasco.
- D = Peso del frasco + agua a 25 C.
- E = Peso de la muestra + frasco + agua a 25 C.
- Gmm = Gravedad específica máxima teórica.

CÁLCULOS MUESTRA 1 AGREGADOS NUEVOS CON 4.5% DE CEMENTO ASFÁLTICO

$$B = 2907.4 \text{ gr}$$

$$C = 4439.4 \text{ gr}$$

$$D = 7406.5 \text{ gr}$$

$$E = 8330.3 \text{ gr}$$

✓ Peso de la muestra A

$$A = C - B$$

$$A = 4439.4 \text{ gr} - 2907.4 \text{ gr}$$

$$A = 1532 \text{ gr}$$

✓ Gravedad específica máxima teórica Gmm

$$Gmm = \frac{A}{A - (E - D)}$$

$$Gmm = \frac{1532 \text{ gr}}{1532 \text{ gr} - (8330.3 \text{ gr} - 7406.5 \text{ gr})}$$

$$Gmm = 2.519 \text{ gr}$$

En la tabla # 26 de los agregados nuevos se determinó valores de la Gravedad específica máxima teórica Gmm lo cuales son: para un porcentaje de 4.50% de cemento asfáltico Gmm= 2.519, para 5% de cemento asfáltico Gmm = 2.433, para 5.50% de cemento asfáltico Gmm = 2.409, para 6% de cemento asfáltico Gmm= 2.375, para 6.5% de cemento asfáltico Gmm=2.348, para 7% de cemento asfáltico Gmm = 2.310, estos valores van cambiando debido la cantidad de agregados y cemento asfáltico que poseen, por esta razón al igual que la tabla anterior, mientras más porcentaje de cemento asfáltico, el valor de la gravedad específica Máxima teórica será menor, estos valores se utilizan para calcular el porcentaje de vacíos con aire y también el asfalto que es absorbido por los poros internos del agregado en una mezcla asfáltica en caliente.

3.1.3.2 Ensayo de gravedad específica del agregado fino y grueso

Tabla 27. Gravedad específica del ripio

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 	
Ensayado Por: Katherin Aysabucha	
Tutor: Ing. Favio Portilla	
Norma: NTE INEN 857	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL RIPIO	
Muestra	1
Canastilla + suelo S.S.S (Aire)	4931,9
Peso canastilla aire	1185,8
Peso del suelo S,S,S (Aire) B	3746,1
Canastilla + suelo S.S.S (Agua)	3233
Peso de la canastilla sumergida	1060
Peso suelo S.S.S (Agua) C	2173
Peso del recipiente + suelo seco	3760,5
Peso del recipiente	198,1
Peso del suelo seco A	3562,4
Temperatura del agua más suelo en C	19
Factor de corrección por temperatura K	0.0989
Densidad aparente de los sólidos $D=A*K/(B-C)$	2,27
Gravedad específica $G_s=A*K/(A-C)$	2,56

Fuente: Autor

Para determinar la gravedad específica de los agregados gruesos se tomó como referencia la Norma INEN 857, el cual se determinó una gravedad específica de 2.56 gr/cm³, se debe mencionar que al realizar los cálculos correspondientes se obtienen estos valores sin unidades, pero al saber que la gravedad específica viene determinada por gr/cm³ es necesario multiplicarla por dichas unidades.

La densidad del agregado se encuentra en el intervalo especificado en la revista ASOCRETO, el cuál determina que la roca madre se encuentra dentro de los límites 2.48 gr/cm³ – 2.8 gr/cm³. Por lo tanto, se concluye que la gravedad específica para el agregado grueso se encuentra dentro de este rango.

Tabla 28. Gravedad específica de arena

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 	
Ensayado Por: Katherin Aysabucha	
Tutor: Ing. Favio Portilla	
Norma: NTE INEN 856	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA	
Muestra número	1
Picnómetro Número	1
Recipiente Número	1
peso del recipiente + suelo seco	160,8
peso del recipiente	112,3
peso del suelo seco (Ws)	48,5
Picnómetro + agua (Wbw)	651,6
Ws + Wbw	700,1
Picnómetro + agua + suelo (Wbws)	682,9
Desplazamiento del agua (Ws + Wbw - Wbws)	17,2
Factor de corrección por temperatura (K)	0,9989
Temperatura	25
Gs	2,81

Fuente: Autor

Para determinar la gravedad específica de los agregados finos en este caso arena, se tomó como referencia la Norma INEN 856, obteniendo un valor de 2.81 gr/cm³ el cual también se encuentra dentro de los límites 2.48 gr/cm³ – 2.8 gr/cm³.

La gravedad específica de los agregados finos es mayor que la gravedad específica de los agregados gruesos ya que al realizar una relación de masas entre los dos tipos de agregados, el agregado fino es más grande que el grueso, debido a que tiene mayor compactación y por lo tanto menos espacios de vacío por lo tanto aumentan la densidad.

3.1.4 Elaboración de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados. MOP – 001 – F – 2002

Para realizar adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, se determinó la cantidad necesaria para cada adoquín de altura 8cm, 7 cm y 6 cm, mediante una relación del volumen con el peso que tiene una probeta realizada en los anteriores ensayos y el volumen que tiene un adoquín hexagonal de 9cm a cada lado con la cantidad o peso que necesitará el adoquín, dependiendo de su tamaño.

Es así que se necesitara un peso total de agregados reciclados + cemento asfáltico de 3400 gr para un adoquín de 8cm, 2975 gr para un adoquín de 7cm, 2550 gr para un adoquín de 6cm, hay que considerar el 0.5% de cemento asfáltico para cada adoquín debido a que mi porcentaje de cemento asfáltico inicial es de 5.80%.

Tabla 29. Resumen de cantidades de agregados reciclados para adoquines con 6.3% de cemento asfáltico

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F – 2002								
RESUMEN CANT. AGREGADOS RECICLADOS DE 1/2" PARA ADOQUINES CON 6.3% AC-20								
			CANT. AGREGADOS 1 ADOQUÍN			CANT. AGREGADOS 5 ADOQUINES		
ALTURA (cm)	% AC-20 ORIG	% AC-20 ADIC	AGREGADOS (gr)	AC-20 (gr)	TOTAL	AGREGADOS (gr)	AC-20 (gr)	TOTAL
8	5,80%	0,50%	3399,83	0,17	3400	16999,15	0,85	17000
7	5,80%	0,50%	2974,85	0,15	2975	14874,26	0,74	14875
6	5,80%	0,50%	2549,87	0,13	2550	12749,36	0,64	12750

Fuente: Autor

Para realizar adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados, se debe considerar agregados nuevos con una granulometría de ½”, con los porcentajes que se utilizó para realizar probetas en los anteriores ensayos, a la vez se debe utilizar el porcentaje óptimo encontrado que es de 6.2% de cemento asfáltico, con estas consideraciones se toman en cuenta los valores totales de la tabla # 29 que serán útiles para cada adoquín de diferente tamaño.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> 							
Ensayado Por: Katherin Aysabucha							
Tutor: Ing. Favio Portilla							
Norma: MOP – 001 – F – 2002							
RESUMEN CANT. AGREGADOS NUEVOS DE 1/2" PARA ADOQUINES CON 6.2% AC-20							
		CANT. AGREGADOS PARA 1 ADOQUÍN			CANT. AGREGADOS 5 ADOQUINES		
ALTURA (cm)	% AC- 20	AGREGADOS (gr)	AC-20 (gr)	TOTAL	AGREGADOS (gr)	AC-20 (gr)	TOTAL
8	6,2	3189,20	210,80	3400	15946,00	1054,00	17000
7	6,2	2790,55	184,45	2975	13952,75	922,25	14875
6	6,2	2391,90	158,10	2550	11959,50	790,50	12750

Tabla 30. Resumen de cantidades de agregados reciclados para adoquines con 6.3% de cemento asfáltico

Fuente: Autor

Para realizar adoquines de hormigón de 210 kg/cm² se tomó como referencia la tabla # 55 la cual indica las dosificaciones que se puede utilizar.

3.1.5 Resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados.

Tabla 31. Adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
Norma: NTE INEN 1485						
Resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados						
Nombre	Área	Altura	Max. Fuerza	Max. Tensión	R. Compresión	Max. Deformación
Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Kg/cm ²	%
ADOQUÍN 8 cm RECICLADO						
AR81	210	8	160,38	7,64	76,37	5,57
AR82	210	8	123,15	5,70	57,01	5,91
AR83	210	8	119,58	5,54	55,36	9,04
AR84	210	8	152,20	7,05	70,46	7,48
AR85	210	8	197,39	9,14	91,38	10,12
PROMEDIO			150,54	7,01	70,12	7,62
ADOQUÍN 7 cm RECICLADO						
AR71	210	7	218,69	10,41	104,14	7,40
AR72	210	7	200,04	9,53	95,26	15,44
AR73	210	7	217,93	10,38	103,77	8,24
AR74	210	7	230,48	10,98	109,75	8,35
AR75	210	7	153,39	7,30	73,04	5,39
PROMEDIO			204,10	9,72	97,19	8,96
ADOQUÍN 6 cm RECICLADO						
AR61	210	6	217,59	10,36	103,61	10,41
AR62	210	6	256,03	12,19	121,92	11,31
AR63	210	6	235,66	11,22	112,22	8,28
AR64	210	6	207,32	9,87	98,72	7,71
AR65	210	6	206,41	9,83	98,29	9,97
PROMEDIO			224,60	10,70	106,95	9,54

Fuente: Autor

Análisis: Para realizar el ensayo a compresión se elaboró 5 muestras de adoquines realizados con mezclas asfálticas en caliente con agregados reciclados, estos adoquines se realizaron con 3 tipos de alturas que son de 8cm ,7cm y 6cm, se realizó un promedio de cada una de sus alturas y se obtuvo una resistencia de 70.12 kg/cm² en un adoquín de 8cm, 97.19 kg/cm² en los adoquines de 7cm, y 106.95 kg/cm² en los adoquines de 6cm. Notándose que a menor altura se obtiene mayor resistencia.

Tabla 32. Adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados

 <div style="text-align: center;"> Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil </div> 						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
Norma: NTE INEN 1485						
Resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados						
Nombre	Área	Altura	Max. Fuerza	Max. Tensión	R. Compresión	Max. Deformación
Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Kg/cm ²	%
ADOQUÍN 8 cm NUEVO						
AN81	210	8	67,40	3,21	32,09	6,71
AN82	210	8	48,00	2,29	22,86	7,06
AN83	210	8	64,00	3,05	30,47	6,17
AN84	210	8	55,09	2,62	26,23	7,09
AN85	210	8	61,50	2,93	29,28	7,99
PROMEDIO			59,20	2,82	28,19	7,00
ADOQUÍN 7 cm NUEVO						
AN71	210	7	93,63	4,46	44,59	4,89
AN72	210	7	132,44	6,31	63,07	8,84
AN73	210	7	109,55	5,22	52,17	8,08
AN74	210	7	87,15	4,15	41,50	8,77
AN75	210	7	99,34	4,73	47,31	6,02
PROMEDIO			104,42	4,97	49,72	7,32
ADOQUÍN 6 cm NUEVO						
AN61	210	6	140,12	6,67	66,72	6,36
AN62	210	6	107,88	5,14	51,37	6,49
AN63	210	6	89,72	4,27	42,72	5,63
AN64	210	6	105,54	5,03	50,26	5,48
AN65	210	6	87,14	4,15	41,50	4,87
PROMEDIO			106,08	5,05	50,26	5,63

Fuente: Autor

Análisis: Para la resistencia a compresión de los adoquines realizados con agregados no reciclados de igual manera se realizó un promedio de cada una de sus alturas y se obtuvo una resistencia de 28.19 kg/cm² en un adoquín de 8cm, 49.72 kg/cm² en los adoquines de 7cm, y 50.26 kg/cm² en los adoquines de 6cm. Notándose claramente que la mayor resistencia de adoquines con mezclas asfálticas en caliente son los utilizados agregados reciclados, independientemente de sus alturas.

Tabla 33. Resistencia a la compresión de adoquines convencionales

 <div style="text-align: center;"> Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil </div> 						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha						
Tutor: Ing. Favio Portilla						
Norma: NTE INEN 1485						
Resistencia a la compresión de adoquines con mezclas de hormigón						
Nombre	Área	Altura	Max. Fuerza	Max. Tensión	R. Compresión	Max. Deformación
Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Kg/cm ²	%
ADOQUÍN 8 cm HORMIGÓN						
AH81	210	8	384,89	18,33	183,28	6,43
AH82	210	8	432,26	20,58	205,84	9,92
AH83	210	8	405,21	19,30	192,96	7,22
AH84	210	8	411,90	19,61	196,14	5,10
AH85	210	8	420,24	20,01	200,11	9,10
PROMEDIO			410,90	19,57	195,67	7,55
ADOQUÍN 7 cm HORMIGÓN						
AH71	210	7	432,69	20,60	206,04	9,49
AH72	210	7	449,27	21,39	213,94	9,29
AH73	210	7	517,04	24,62	246,21	10,12
AH74	210	7	523,05	24,91	249,07	12,95
AH75	210	7	621,91	29,61	296,15	8,99
PROMEDIO			508,79	24,23	242,28	10,17
ADOQUÍN 6 cm HORMIGÓN						
AH61	210	6	533,05	25,38	253,84	7,62
AH62	210	6	621,91	29,61	296,15	10,82
AH63	210	6	546,32	26,02	260,15	10,55
AH64	210	6	587,02	27,95	279,53	9,71
AH65	210	6	554,88	26,42	264,23	10,25
PROMEDIO			568,64	27,08	270,78	9,79

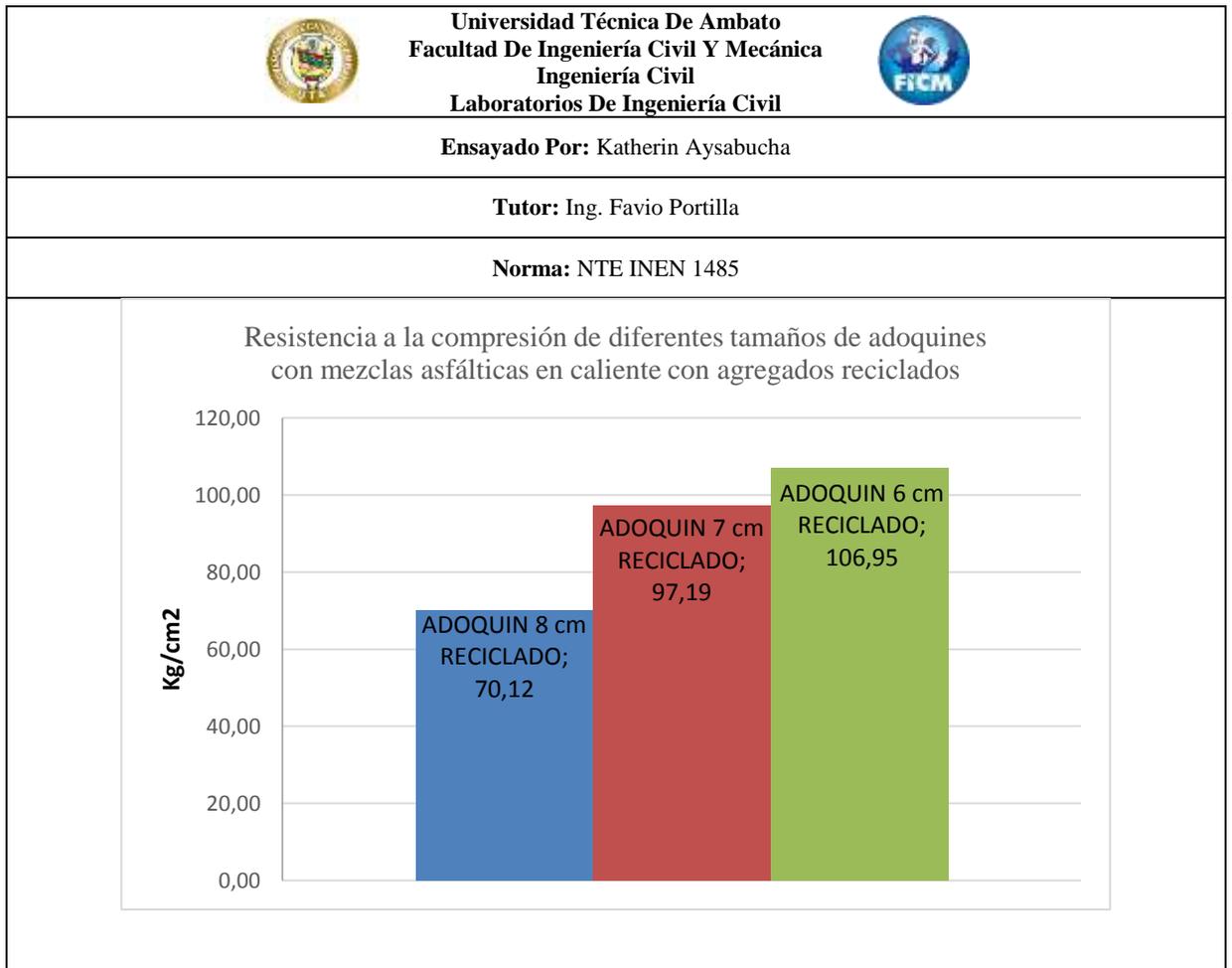
Fuente: Autor

Análisis: Para la resistencia a compresión de los adoquines realizados con hormigón se realizaron en los mismos moldes que los adoquines con mezclas asfálticas en caliente y de igual manera 5 muestras para las 3 diferentes alturas. Se trabajó con un $f'c=210\text{kg/cm}^2$, se ensayó a los 28 días obteniendo una resistencia de 195.67 kg/cm^2 en

un adoquín de 8cm, 242.28 kg/cm² en los adoquines de 7cm, y 270.78 kg/cm² en los adoquines de 6cm.

3.1.6 Comparación de la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple Norma NTE INEN 1485

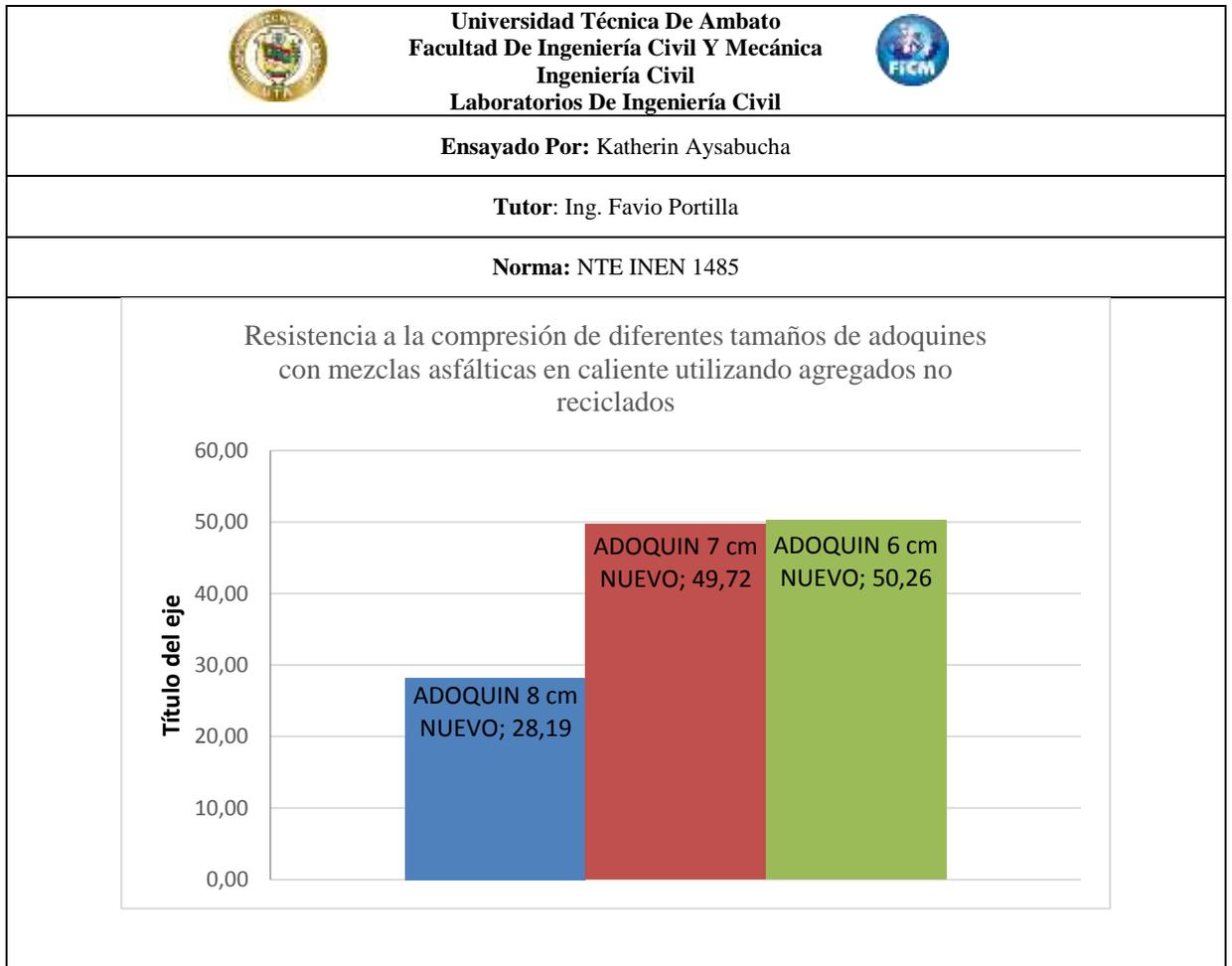
Gráfica 3. Resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados



Fuente: Autor

Análisis: En la gráfica # 3 se puede observar una comparación de la resistencia a compresión entre los distintos tamaños de adoquines elaborados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, concluyendo de esta manera que a mayor altura menor resistencia y a menor altura mayor resistencia.

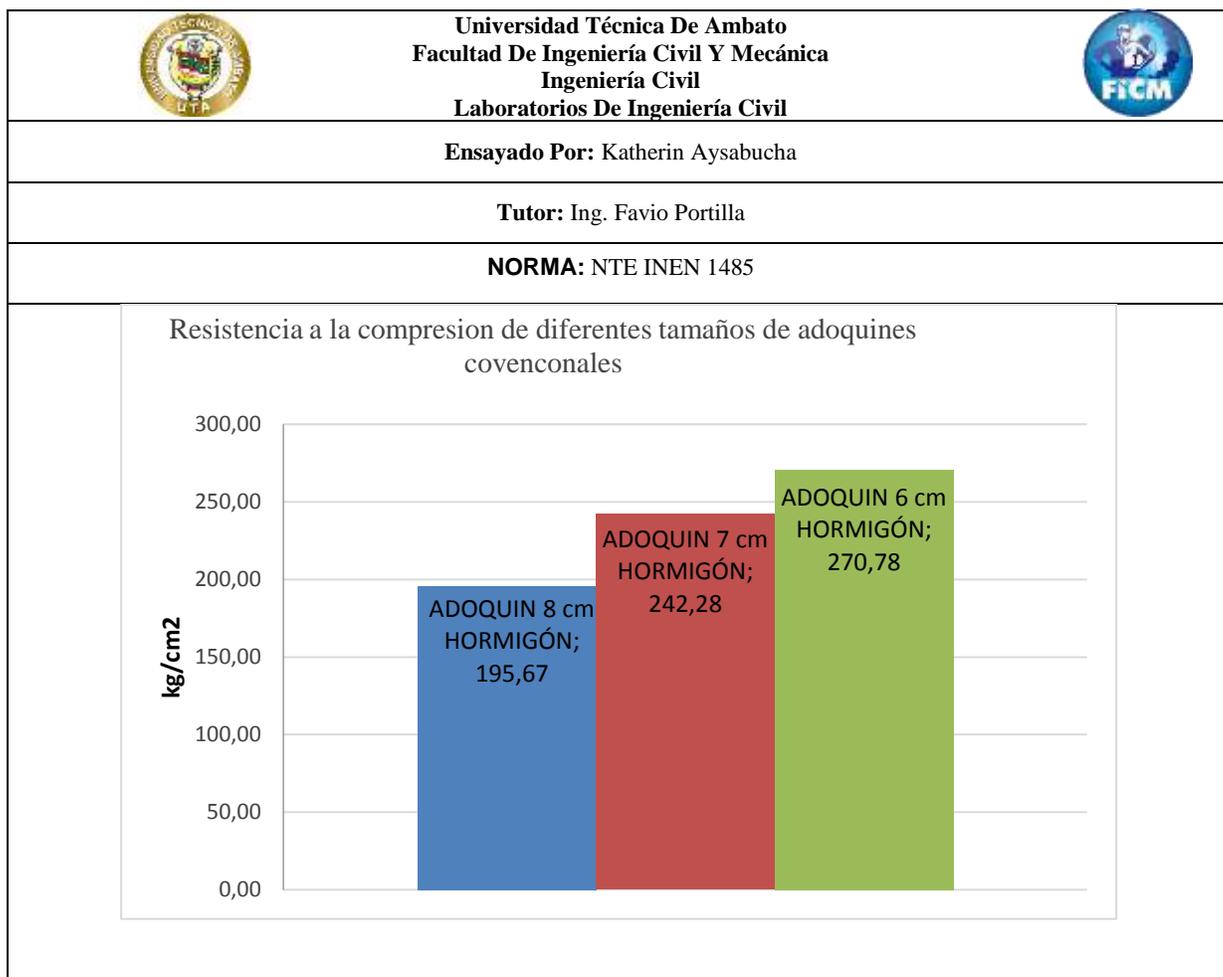
Gráfica 4. Resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados



Fuente: Autor

Análisis: En la gráfica # 4 se puede observar una comparación de la resistencia a compresión entre los distintos tamaños de adoquines elaborados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados, de igual manera a mayor altura menor resistencia y viceversa.

Gráfica 5. Comparación de la resistencia a la compresión de diferentes tamaños de adoquines convencionales

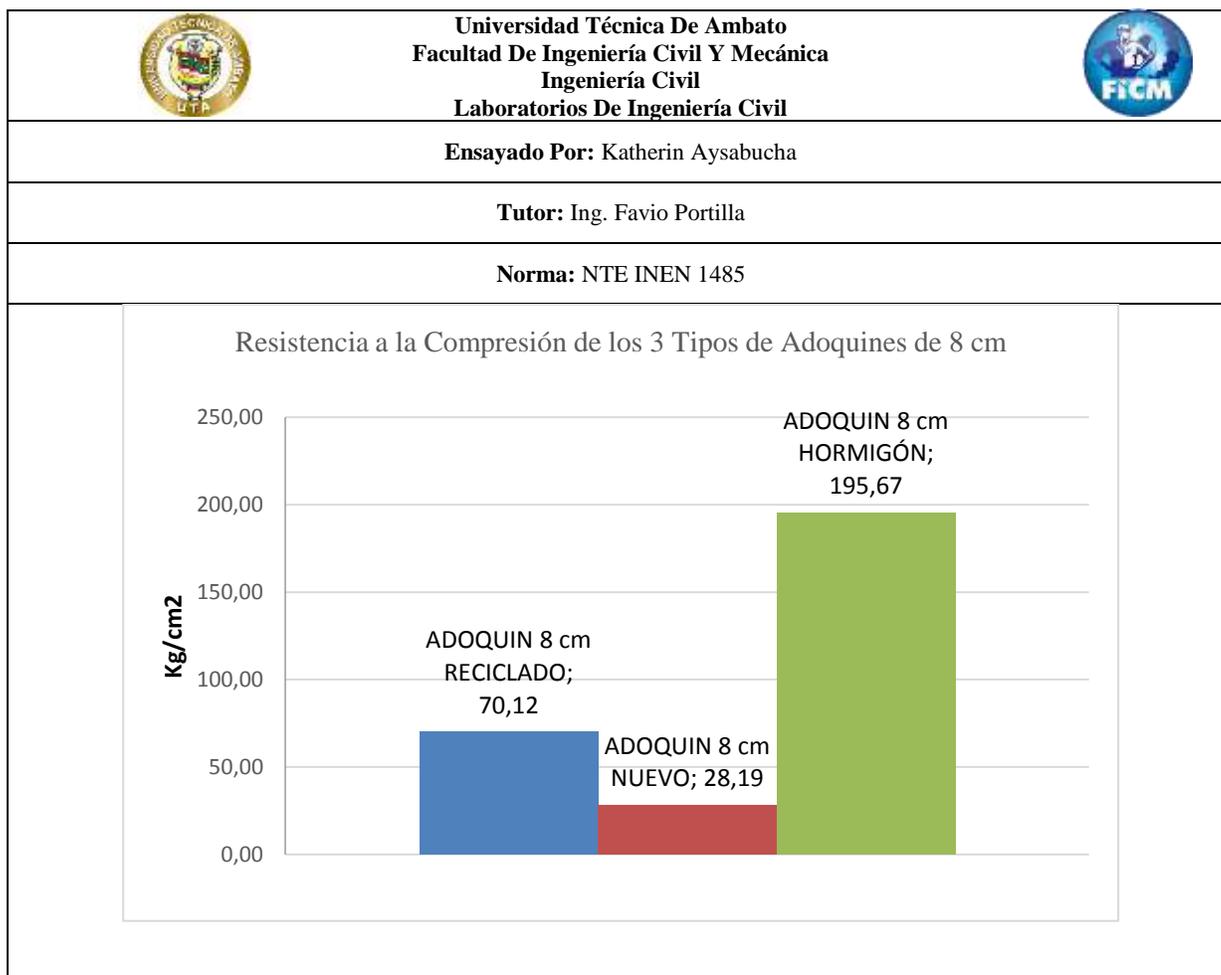


Fuente: Autor

Análisis:

Al realizar la comparación de la resistencia a compresión simple entre los diferentes tamaños de adoquines elaborados de hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se puede apreciar que un adoquín de menor espesor alcanza mayor resistencia y un adoquín de mayor espesor alcanza menor resistencia, llegando a la conclusión que un adoquín de 6 cm es el más factible para la utilización. Sin embargo, los espesores de adoquines vienen clasificados según el tipo de vía siendo los de 6 cm para tráfico liviano.

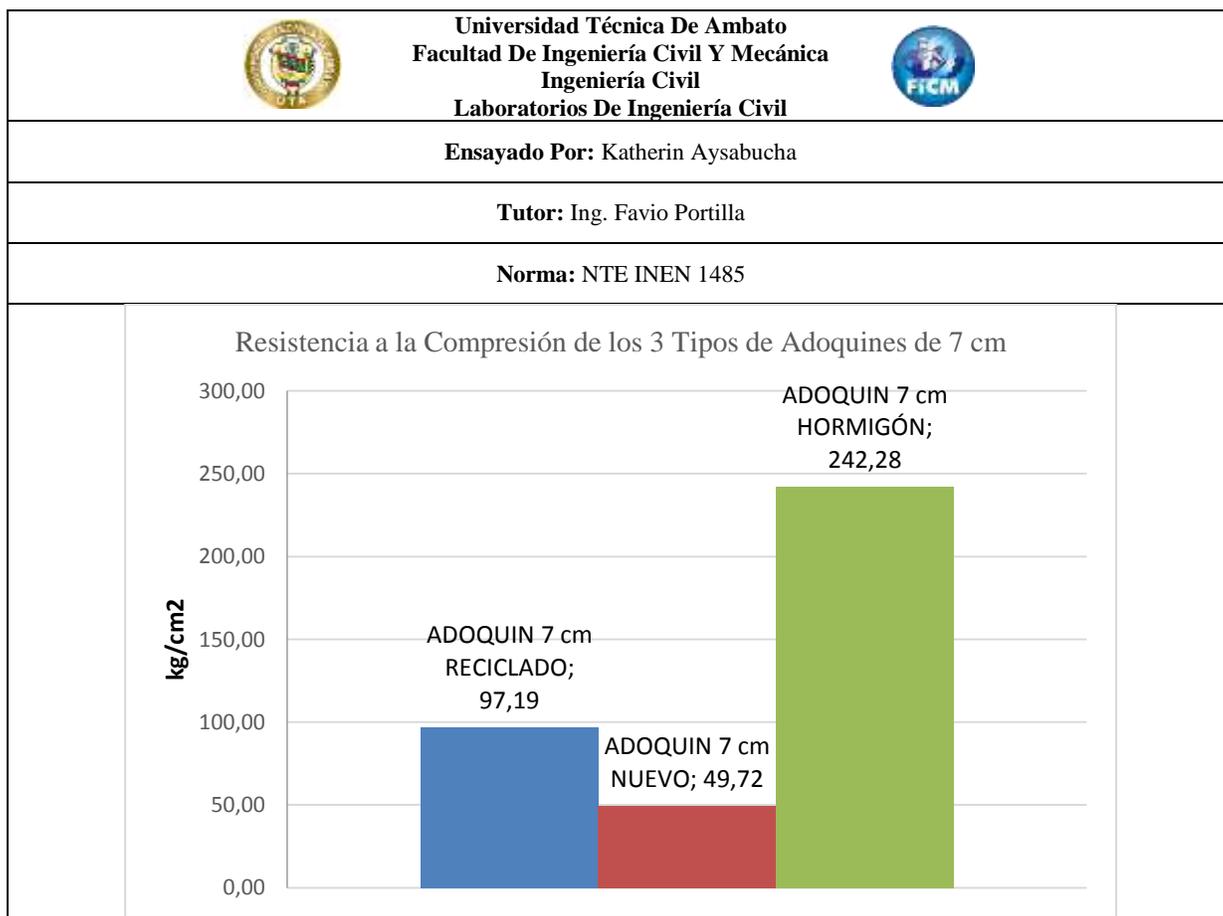
Gráfica 6. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 8 cm



Fuente: Autor

Análisis: En los 3 tipos de adoquines que tienen un espesor de 8 cm se encontró una resistencia de 70.12 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, 28.19 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y 195.67 kg/cm² para adoquines convencionales.

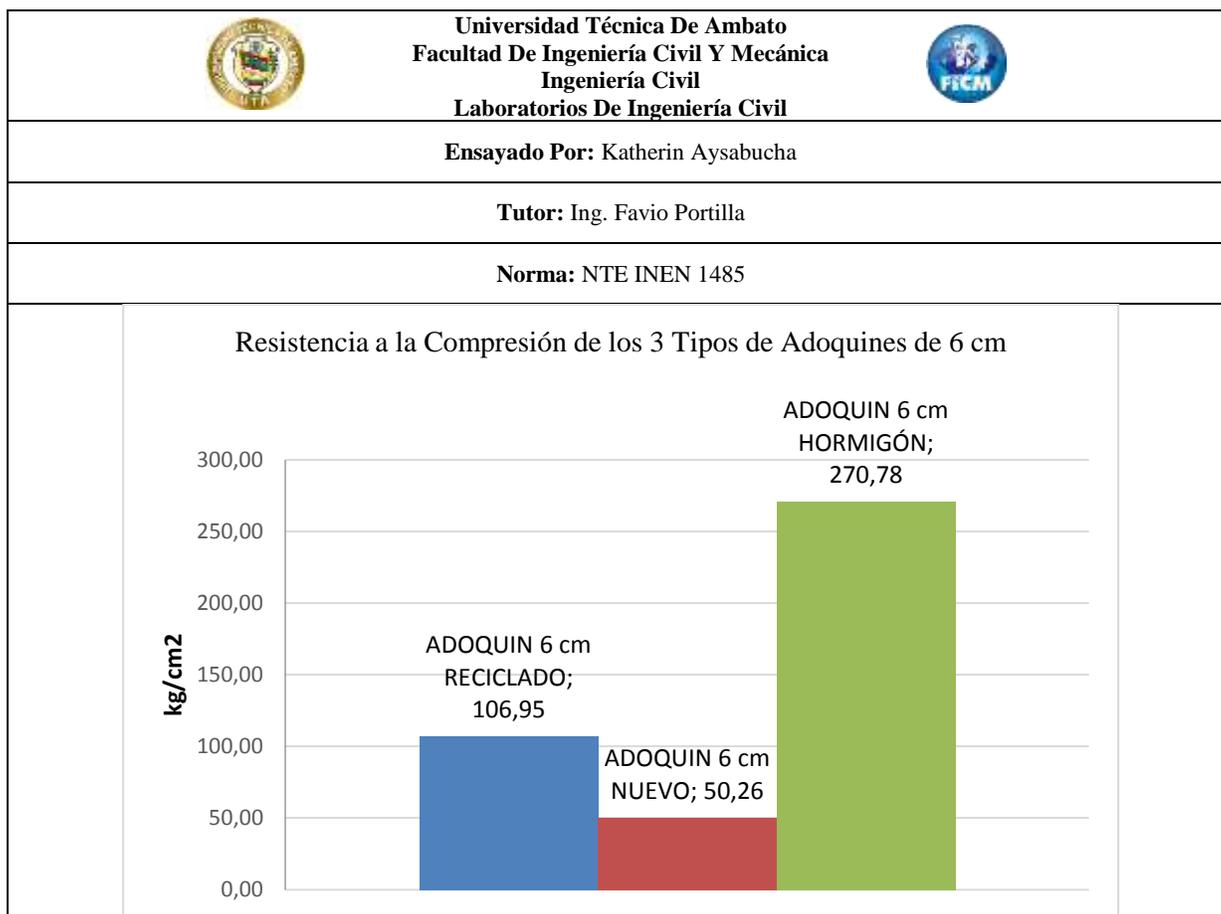
Gráfica 7. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 7 cm



Fuente: Autor

Análisis: En los 3 tipos de adoquines que tienen un espesor de 7 cm se encontró una resistencia de 97.19 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, 49.72 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y 242.28 kg/cm² para adoquines convencionales.

Gráfica 8. Comparación de la resistencia a la compresión de los 3 tipos de adoquines de altura 6 cm



Fuente: Autor

Análisis: En los 3 tipos de adoquines que tienen un espesor de 6 cm se encontró una resistencia de 106.95 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, 50.26 kg/cm² para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y 270.78 kg/cm² para adoquines convencionales.

Estos adoquines de 6 cm independientemente del material con el que están elaborados son los que tienen mayor resistencia con respecto a los de mayores tamaños.

Se llegó a determinar que la resistencia a la compresión es mayor en los adoquines elaborados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados, con

respecto a los adoquines elaborados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados, sin importar el espesor de adoquín.

Cabe mencionar que la mejor resistencia a la compresión simple mayor que se determinó es la de un hormigón ya que se puede elaborar los adoquines con la resistencia que necesitamos, sin embargo, los adoquines con mezclas asfálticas en caliente elaborados con agregados reciclados y no reciclados según Marshall tienen una buena estabilidad llegando a ser factibles para vías de alto tránsito vehicular.

Se concluye que los adoquines diseñados con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados serán utilizados para vías de tráfico liviano por escoger al adoquín de 6cm como el óptimo, debido a que tiene mayor resistencia con respecto a los de mayores tamaños y su resistencia a la compresión es menor con respecto a los adoquines de hormigón,

3.1.7 Diseño de la estructura de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente

Figura 32. Estructura típica de un pavimento de adoquín



Fuente: Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala , «Guía de instalación de adoquines de concreto,», 2014

- **Evaluación de la subrasante**

La capacidad de soporte de la subrasante se determina mediante el ensayo del CBR directamente, o realizando correlaciones con el Índice Plástico. Si la subrasante puede llegar a saturarse en algún momento durante la vida del pavimento se debe utilizar el valor del CBR en estado saturado y en equilibrio. En el caso de tener suelos finos granulares, el valor de CBR se puede determinar con base en el Índice Plástico, tal como se indica en la Tabla # 34.

El diseño del pavimento debe considerar el drenaje de la subrasante, usualmente mediante "Drenes Franceses" de evacuación directa o que descarguen en el sistema de alcantarillado, con pendientes adecuadas.

En aquellas áreas donde el valor de CBR varía, se debe emplear el valor menor que se haya obtenido, o si se hacen diseños para diferentes zonas, se debe usar el valor menor registrado en cada una.

Se pueden remover aquellas zonas que sean muy débiles e ignorar los valores de CBR muy bajos debidos al material removido.

A la subrasante se le dará el mismo perfil especificado para la superficie de adoquines de manera que al colocar la base y la capa de arena, ambas con un espesor uniforme en toda el área del pavimento, se llegue a las cotas de diseño conservando dicho perfil.

Tabla 34. Valores de CBR saturado y en equilibrio en función al índice plástico

Valores de CBR saturado y en equilibrio, en función del índice plástico													
Tipo de suelo	IP	Nivel freático alto						Nivel freático bajo					
		Tipo de construcción						Tipo de construcción					
		Pobre		Promedia		Buena		Pobre		Promedia		Buena	
		D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G
Arcilla	70	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,50
	60	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,50
	50	1,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,50
	40	2,0	2,5	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,50
Arcilla limosa	30	2,5	3,5	3,00	4,0	3,5	5,0	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	6,00
Arcilla arenosa	20	2,5	4,0	4,00	5,0	4,5	7,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	8,00
	10	1,5	3,5	3,00	6,0	3,5	7,0	2,5	4,0	4,5	7,0	6,0	<8,0
Limo		1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Arena (mal gradada)		20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Arena (bien gradada)		40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Gravilla arenosa (bien gradada)		60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
IP. Índice plástico													
D. Pavimento delgado													
G. Pavimento grueso													
<p>Nota: Un pavimento grueso (G) es aquel de más de 600mm de espesor y uno delgado de menos de 300mm. Los tipos o condiciones de construcción (pobre, promedia, buena) se determina de acuerdo al sistema de drenaje colocado durante la construcción.</p>													

Fuente: A. Montejó Fonseca, *Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*, 2006.

- **Selección del espesor del pavimento.**

El diseño de espesores debe tomar en cuenta el tráfico acumulado que tendrá que soportar el pavimento durante el período de diseño. Dicho tráfico puede evaluarse en términos del "Número de vehículos comerciales por día" (vc/d) o del "Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas". (Este último expresado en millones).

La Tabla # 35 muestra la relación existente entre ambos parámetros (vc/d y N) para períodos de diseño de 20 y 40 años, y en cada caso, para un Crecimiento del tráfico de 0 y 2%.

Un pavimento de adoquines que supere los 8.000.000 de ejes equivalentes puede requerir que durante su vida útil se reconstruya la capa de rodadura (retirar los adoquines y la capa de arena y volver a colocarlos) debido a la migración o pérdida de parte de dicha capa; pero esto no debe considerarse como falla de la estructura del pavimento.

- **Elementos del pavimento**

Los elementos de la estructura del pavimento de adoquines se indican en la Figura 32, pero no todos tienen que estar presentes siempre.

El diseño se debe llevar a cabo de acuerdo al diagrama de flujo que aparece en la Figura 33.

En primer lugar, se debe determinar el valor de CBR de la subrasante y la magnitud del tráfico esperado expresado en millones de ejes estándar, tal como se describió anteriormente.

- **Subrasante mejorada**

El espesor de la subrasante mejorada se selecciona teniendo en cuenta el valor de CBR de la subrasante. Para un CBR del 1% el espesor será de 600 mm si esta entre 2y 4% tendrá un espesor de 350 mm y si es del 8% o más se omitirá esta capa del pavimento.

- **Sub base**

Si la sub base no se va a usar como vía de acceso a la construcción de las áreas vecinas al pavimento, su espesor será de 150 mm cuando se haya colocado una subrasante mejorada y de 225 mm si dicha capa se ha omitido.

En caso de que se vaya a usar como vía de acceso a la construcción y se haya colocado una subrasante mejorada, se incrementará el espesor de la sub base de acuerdo con la magnitud del tráfico que circulará directamente sobre ella, según el número de viviendas o el número equivalente de m² de propiedad industrial o comercial que se vayan a construir.

Si se tiene construcciones que no se puede clasificar en una de estas 3 tipologías, se asumen que la vía servirá a un gran proyecto y circularan por ella 5000 ejes estándar;

pero siempre se aplicara el criterio profesional para evaluar el tráfico al cual está sometida la vía.

Tabla 35. Relación vc/d

Relación entre el número de vehículos comerciales por día (vc/d)" y el número de ejes equivalentes de 8,2 T (N) para periodos de diseño de 20 y 40 años y ratas de crecimiento del tráfico del 0 y el 2%,				
Vc/d	Tráfico acumulado			
período de diseño (años)	20		40	
Crecimiento (%)	0	12	0	2
30	0,22	0,27	0,4	0,6
120	0,86	1	1,77	2,6
250	1	2,2	3,6	5,5
500	1,8	4,4	7,3	11
1000	7,2	960	14,7	24,3

Nota: Esta tabla se puede aplicar a pavimentos corrientes en los cuales el tráfico de vehículos comerciales es menor que el 50% del total

Fuente: Alfonso Montejo “Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías”, 2010

Durante periodos lluviosos se debe terminar de construir el pavimento, tan pronto como sea posible, para proteger sus capas inferiores. De todas maneras, se quiere efectuar trabajos adicionales en la superficie de la sub base, que ha sido usada como vía de acceso a la construcción, antes de colocarse las capas superiores.

- **Base**

Cuando se tenga un tráfico de menos de 30 vc/d o 1.5×10^3 ejes equivalentes de 8,2 toneladas y el pavimento no corresponda a una de las categorías especiales, por lo tanto no se necesitará colocar una capa de base (tan solo la subrasante mejora y la sub base).

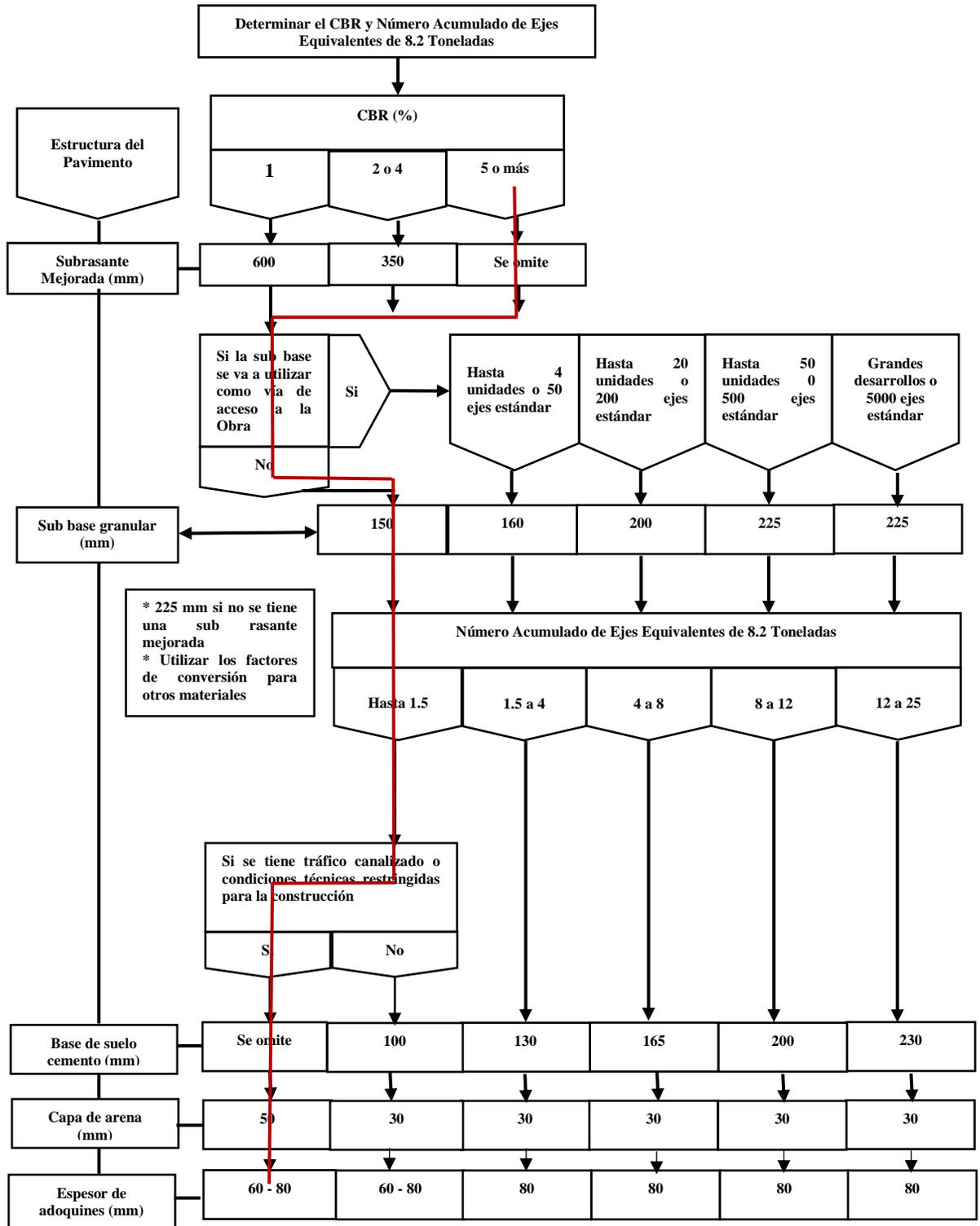
- **Capa de arena**

Si no se coloca la capa base, la de arena tendrá un espesor de 50 mm Si se coloca la base, dicho espesor será de 30 mm. Esta diferencia se debe a que a la superficie terminada de la base se le exigen unas tolerancias menores que a la sub base.

- **Adoquines de concreto**

Por lo general tendrán un espesor de 60 u 80 mm. En áreas con tráfico muy pesado, particularmente en aquellas con tráfico canalizado o cargas dinámicas se deberá considerar eventualmente la utilización de adoquines de 100 mm de espesor.

Figura 33. Gráfica para determinar los espesores de las capas de un pavimento articulado



Fuente: Alfonso Montejo "Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías", 2010

Tabla 36. Espesores de las Capas del pavimento articulado con mezclas asfálticas en caliente

Capas del pavimento articulado con mezclas asfálticas en caliente	espesores (mm)
Subrasante Mejorada	0
Sub Base	150
Base de suelo cemento	0
Cama de Arena	50
Adoquín de mezclas asfálticas en caliente	60

Fuente: Autor

Análisis: Se determinó los espesores de cada una de las capas que conforman un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados Al no realizar un ensayo de CBR para la subrasante se tomó como dato según la tabla # 34. Considerando una arena bien gradada lo que se obtiene un CBR de 40% lo que significa que no necesitamos una subrasante mejorada, posteriormente consideramos que la sub base no se va a utilizar como vía de acceso a la obra por lo tanto se obtuvo una sub base de 150 mm.

Al considerar que estos adoquines se utilizarán para una vía de bajo tráfico vehicular se tiene un número acumulado de ejes equivalente de 8.2 toneladas igual o menor a 1.5, y al tener tráfico canalizado o condiciones técnicas restringidas para la construcción se omite el valor para la base de suelo cemento.

La capa de arena que se determinó es de 50 mm y el espesor de adoquín se considera de 60 mm debido a que alcanza una mayor resistencia con respecto a los de mayor altura.

3.1.8 Análisis de costos de la estructura de adoquines con mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple

Tabla 37. Presupuesto referencial para un adoquín con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados reciclados

RUBRO NÚMERO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Replanteo y Nivelación	m	100	2,39	239,11
2	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	800	1,29	1028,11
3	Sub base conformación y compactación con equipo pesado (incluye material)	m ³	120	22,06	2646,81
4	Adoquín con agregados reciclados (incl. Cama de arena e=5 y emporado con cemento y arena fina)	m ²	800	17,46	13970,18
5	bermas de hormigón simple 15x30 cm f'c=180kg/cm ²	ml	200	7,51	1502.30
TOTAL					19386.52

Fuente: Autor

Tabla 38. Presupuesto referencial para un adoquín de hormigón simple

RUBRO NÚMERO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Replanteo y Nivelación	m	100	2,39	239,11
2	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m ²	800	1,29	1028,12
3	Sub base conformación y compactación con equipo pesado	m ³	120	22,06	2646,81
4	Adoquín convencional (incl. Cama de arena e=5 y emporado con cemento y arena fina)	m ²	800	22,14	17708.62
5	bermas de hormigón simple 15x30 cm f'c=180kg/cm ²	ml	200	7,51	1502.30
TOTAL					23124.96

Fuente: Autor

Análisis: Los rubros de replanteo y nivelación, Subrasante, Sub-base, Base y bermas serán los mismos valores, ya sean para adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados, y adoquines de hormigón.

El precio de un adoquín de hormigón se encuentra alrededor de 35 centavos, el precio de un adoquín diseñado con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados es de 25 centavos y el adoquín de agregados nuevos tiene un costo de 55 centavos, siendo el más óptimo el adoquín realizado con agregados no reciclados.

La ventaja en precios que tiene un adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados es muy notoria, ya que en los rubros descritos en las tablas 65 y 66 existe una diferencia de costos de \$ 4.68 que es un valor representativo sobretodo cantidades mayores.

Al realizar un presupuesto referencial de una vía que tenga una longitud de 100m y 8 m de ancho para un pavimento articulado se encontró una diferencia de \$3738.44, con este valor se obtiene una optimización notable de recursos económicos, ya que representará un 16.17 % menor al valor normal.

3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

El diseño de adoquines con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregado reciclados, tiene una estabilidad alta con respecto a los realizados con agregados no reciclados considerándose adecuados para tráfico liviano y su costo es óptimo respecto a un adoquín convencional.

Se verifico la hipótesis debido a que el diseño de adoquines con mezcla asfáltica en caliente utilizando agregado reciclados, tiene una mayor estabilidad con respecto a los realizados con agregados no reciclados y serán óptimos según su costo ya que posee menor costo que un adoquín convencional. Sin embargo, según la resistencia que poseen y al espesor escogido estos adoquines serán utilizados para vías de bajo tránsito vehicular.

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Se obtuvo el diseño óptimo de las mezclas asfálticas en caliente para la elaboración de adoquines mediante la realización de probetas utilizando el método Marshall, el cual se determinó un porcentaje óptimo de 6.2% de asfalto para agregados nuevos y un porcentaje óptimo de 6.3% de asfalto para agregados reciclados. El porcentaje de asfalto residual de la mezcla reciclada fue de 5.8% de asfalto, por lo tanto fue necesaria la incorporación de 0.5% de asfalto para alcanzar valores óptimos de estabilidad y flujo.
- Se elaboró adoquines de mezclas asfálticas en caliente con 6.3% de asfalto utilizando agregados reciclados y 6.2% de asfalto utilizando agregados no reciclados como se mencionó anteriormente. Estos dos tipos de adoquines con mezclas asfálticas en caliente fueron realizados con geometrías convencionales.
- Se determinó la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente con agregados reciclados, la cual se obtuvo 70.12 kg/cm² en adoquines de 8cm, 97.19 kg/cm² en adoquines de 7cm, y 106.95 kg/cm² en adoquines de 6cm. Y para adoquines con agregados nuevos se determinó un resistencia a la compresión de 28.19 kg/cm² en adoquines de 8cm, 49.72 kg/cm² en adoquines de 7cm, y 50.26 kg/cm² en adoquines de 6cm. Notándose claramente que a menor altura se obtiene mayor resistencia y que la mayor resistencia de adoquines con mezclas asfálticas en caliente son los que se utiliza agregados reciclados.
- Se comparó la resistencia a la compresión de adoquines con mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple llegando a concluir que la resistencia a compresión para adoquines de hormigón asfáltico con agregados reciclados y nuevos fue menor que los adoquines de hormigón simple. Este no es un parámetro de comparación debido a que los materiales son distintos, el comportamiento del uno es de mezclas asfálticas flexibles y el otro es de hormigón simple rígido, los resultados eran de suponerse, sin embargo los parámetro fundamentales a analizarse fueron la

estabilidad y flujo las cuales como se menciona anteriormente cumplen las especificaciones MOP-001-F-2002.

- Se diseñó la estructura de un pavimento articulado el cual se escogió un adoquín de 6cm (mayor resistencia a la compresión), utilizando un TPDA de vías de bajo tráfico (vías urbanas). Los espesores de cada una de las capas que conforman un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados son sub base de 150 mm y capa de arena de 50 mm.
- Se analizó la diferencia en costos de un pavimento articulado con adoquines de mezclas asfálticas en caliente y adoquines de hormigón simple para un adoquinado de 800 m² el cual se encontró una diferencia de \$3738.44, por lo tanto se concluyó que la vía de hormigón asfáltico es más conveniente técnica y económicamente para vías de tráfico liviano, ya que representará un 16.17 % menor al valor normal.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un buen proceso de cuarteo y extracción de asfalto para determinar correctamente el porcentaje residual de asfalto.
- Adquirir una máquina de compactación automática para facilitar la elaboración de adoquines de hormigón asfáltico.
- Se recomienda realizar adoquines de un espesor de 6cm ya que tendrá una mejor compactación, utilizará menor cantidad de material y alcanzará mayores resistencias.
- Se recomienda realizar la comparación solo entre mezclas asfálticas debido a que tiene un mismo comportamiento.
- Se recomienda utilizar estos adoquines para vías de bajo tráfico vehicular aun teniendo una buena estabilidad y flujo, debido a su baja resistencia en comparación con un adoquín de hormigón simple.
- Se recomienda elaborar adoquines de hormigón asfáltico reciclado debido a que los adoquines de hormigón asfáltico nuevo tiene un mayor costo.

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Moncayo V, Manual de Pavimentos, México: CIA. Editorial, Continental, S,A. DE.C.V.México, 1994.
- [2] H. L. Arenas Lozano, Tecnología del Cemento Asfáltico, Colombia.
- [3] E. I. Guio Vargas y H. M. Sanchez Abril, «Mezclas asfálticas recicladas y su uso en capas granulares para pavimentos,» *Revista Colombiana de Materiales*, nº 5, pp. 382-388, 2010.
- [4] R. Bahamondes, «Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón,» *Revista de Construcción*, vol. 1, nº 1, pp. 22-25, Diciembre 2013.
- [5] J. M. Morales Jimenez, D. Suaste Gutierrez y A. O. Avila Ruiz, *Diseño de una mezcla con materiales reciclados para producción de adoquines*, México: Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
- [6] V. F. Armijos Cuenca, *Estudio del diseño estructural y constructivo de pavimentos articulados en base a bloques de asfalto*, Santiago de Chile: Tesis Pontificia Universidad Católica de Chile, 2011.
- [7] C. Marin, G. Thenoux, D. Saldaña y R. Lucero, *Pavimentos de bloques asfálticos para vias de bajo volumen de tránsito*, Santiago de Chile: Tesis Pontifica Universidad Católica de Chile, 2015.

- [8] A. Wlazlo, «Reciclados de Mezclas Asfálticas,» 21 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://revistavial.com/reciclados-de-mezclas-asfalticas/>. [Último acceso: 28 Marzo 2019].
- [9] R. Torres, P. Flores , M. Flores , V. Flores y K. Mairon, «Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos,» *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, vol. 1, n° 1, pp. 1-3, 2014.
- [10] C. Giordani y D. Leone, *Pavimentos*, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario, pp. 2-4.
- [11] H. A. Rondon Quintana y F. A. Reyes, «Pavimentos Materiales, Construcción y diseño,» Bogota, Primera edición, 2015, pp. 305-309.
- [12] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de pavimentos, evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*, tercera ed., vol. 1, Colombia: Stella Valvuená García, 2006.
- [13] Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala, «Guía de instalación de adoquines de concreto,» 20 Octubre 2014. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/hp/Downloads/gua%20de%20instalacion%20adoquines%20iccg%20-%20octubre%202014-sitio%20web%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/gua%20de%20instalacion%20adoquines%20iccg%20-%20octubre%202014-sitio%20web%20(1).pdf). [Último acceso: 29 Junio 2019].
- [14] W. P. Navarro Batallas, *Modelo de gestión de conservación vial para la rural del canton Santo Domingo*, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016.

- [15] MOP-001-F-2002, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*, Quito, 2002.
- [16] «Adoquín Ecured,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Adoquín>. [Último acceso: 29 Junio 2019].
- [17] NTE INEN 1483, *Adoquines Terminología y Clasificación*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.
- [18] P. M. Morales Camacho, *Construcción y conservación de vías*, Primera ed., Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, pp. 305-309.
- [19] R. Rodríguez Talavera, V. M. Castaño Meneses y M. Martínez Madrid, *Emulsiones Asfálticas*, Mexico: Documento Técnico No 23, 2001.
- [20] J. A. Soto y J. Nebreda, *Mezclas Abiertas en Frio*, Madrid, 2018, pp. 3-9.
- [21] «Mezclas asfálticas en caliente,» *Asosaltos*, vol. 1, n° 1, pp. 2-4.
- [22] E. Garzon y A. Cardenas, *Variación de temperatura de los componentes de una mezcla densa en caliente tipo 3 con cemento asfáltico 80-100*, Bogotá, 2013, p. 30.
- [23] A. Padilla Rodríguez, *Mezclas asfálticas*, 2014.
- [24] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial*, Perú: Dirección General de Caminos Y ferrocarriles, 2018.
- [25] P. Garnica Anguas, M. Flores Flores, J. A. Gomez Lopez y H. Delgado Alamilla,

Caracterización Geomecánica de mezclas asfálticas, Publicación Técnica No 267, 2005.

[26] W. P. Chimborazo Morocho, *Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método Superpave*, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.

[27] F. Miranda Arguello y J. P. Aguilar Moya, «Rap Pavimentos Asfálticos reciclados,» *Boletín Técnico Pitra - Lanamme UCR Mezclas Asfálticas*, vol. 1, n° 1, p. 1, enero 2019.

[28] «Método estándar de ensayo para la extracción cuantitativa de bitumen de mezclas de pavimento bituminoso (centrifuga y reflujó),» [En línea]. Available: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/10-ligantes/10.32.pdf>. [Último acceso: 29 Junio 2019].

[29] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gomez Lopez, S. A. Romero y H. A. Alarcon Orta, *Aspectos del Diseño Volumetrico de mezclas Asfalticas*, Mexico: Publicación Técnica No.246. Sanfandila, Qro 2004, 2004, pp. 3-4.

[30] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla y C. D. Sandoval Sandoval, *Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*, Publicación técnica n° 271, Sanfandila, Qro, 2005, pp. 1-2.

[31] Y. Albornoz, Merida: LABSP Universidad de los Andes, 2014, p. 1.

[32] Norma I.N.V.E.-735-07, *Gravedad específica máxima teórica (Gmm) y densidad de mezclas asfálticas para pavimentos*, Colombia: Normas de referencia: ASTM D

2041-00, AASHTO T 209 -05.

- [33] *Norma de Diseño Geometrico de Carreteras*, 2003.
- [34] Norma I.N.V.E.-732-07, *Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos*, Colombia: Normas de referencia: ASTM D 2172, AASHTO T 164.
- [35] Norma I.N.V.E.-748-07, *Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall*, Colombia: Normas de referencia: ASTM D 159, AASHTO T 245 -97, 2004.
- [36] J. Simeon Cañas, *Densidad, Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso*, El Salvador: Universidad Centroamericana, Laboratorio de Materiales de construcción, 2014, pp. 2-10.
- [37] Instituto Mexicano de Transporte, *Método de prueba estándar para determinar la densidad, densidad relativa, (gravedad específica) y absorción de agregado fino*, Mexico: Norma de referencia: ASTM C 128-15.
- [38] F. Moreira, *Diseño de Mezclas bituminosas*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015, p. 1.
- [39] R. J. Miranda Rebolledo, *Deterioro en Pavimentos flexibles y Rígidos*, Valdivia , 2010, pp. 2-4.
- [40] N. J. Garber y L. A. Hoel, *Traffic & Highway Engineering*, Fourth ed., Virginia: RPK Editorial Services, Inc., 2009, pp. 900-1000.

- [41] G. Arias y W. Galvis, *Tipología de Mezclas Asfálticas*, 2013.
- [42] «Diferentes estructuras de Pavimentos,» 30 noviembre 2009. [En línea]. Available: <https://pavimentosestructurales.wordpress.com/2009/11/>. [Último acceso: 2009 abril 10].
- [43] R. Zuñiga C, *Mezclas Asfálticas en caliente*, 2015.
- [44] *Gravedad Especifica*, 2011.
- [45] P. A. Cardenas Carpio, *Diseño de pavimentos y análisis económico de la calle paseo tres de noviembre y de calle Colombia, de la Ciudad de Cuenca*, Cuenca: Universidad del Azuay, 2014, pp. 112-177.
- [46] K. G. Capa Moya, *Análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica abierta con la adición de fibras de acero*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017, p. 12.
- [47] «Concreto. Serie de Conocimientos Básicos,» *ASOCRETO Instituto Colombiano de productores de cemento*, vol. 1, nº 1, p. 1.
- [48] NTE INEN 3040, *Adoquines de hormigón, requisitos y métodos de ensayo*, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2014.
- [49] NTE INEN 1485, *Adoquines determinación de la resistencia a la compresión*, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1986.
- [50] NTE INEN 856, *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad*

específica) y absorción del árido fino, Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2010.

[51] *Reajuste de Precios, Salarios Mínimos por Ley*, Contraloría General del Estado, Dirección Nacional de auditoria de transporte, vialidad,, 2019.

[52] C. Pajuelo Cubillas, *Reciclado de pavimentos*, Peru: Universidad Nacional Fedrico Villareal, 2014.

[53] W. M. Galvis Castillo, *Reciclado de Pavimentos, Tecnología Moderna para el mantenimiento de carreteras*, Peru: CONALVIAS S.A Sucursal Peru, 2010.

[54] H. A. Rondon Quintana , E. H. Sanchez Cotte y J. O. Castaño Tabares, «Resistencia bajo carga monotónica de mezclas de concreto asfáltico modificadas con gilsonita por vía seca,» *Tecnura*, vol. 1, n° 1, pp. 31-37, 2014.

[55] AASHTO, *Guide For Design of Pavement Structures*, Washington D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.

[56] NTE INEN 1488, *Adoquines Requisitos*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.

[57] C. Kraemer , J. M. Pardillo, S. Rocci, M. Romana , V. Sánchez Blanco y M. Á. del Val, *Ingeniería de Carreteras*, vol. II, Colombia, 2010.

[58] N. I. 857, *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*, Servicio Ecuatoriano de Normalización,

2010.

- [59] F. Sanchez Sabogal y S. X. Campagnoli Martínez, Construcción de Pavimentos Asfálticos, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2015.
- [60] V. Cincire, *Uso Racional de Rap en Mezclas Asfálticas*, México: Asociación Mexicana de Asfalto, 2016.
- [61] I.N.V.E - 128 - 07, *Determinación de la gravedad específica de los suelos y del sellante mineral*, Instituto Nacional de Vías, Normas de Referencia AASHTO T 100 - 2003, ASTM D 854 - 00.

Anexos

Anexos Tablas

Tabla 39. Factor de Corrección para la estabilidad

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

Fuente: Norma I.N.V.E 748 – 07

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

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

Fuente: Norma I.N.V.E 748 – 07

Tabla 40. Densidad del agua Y coeficiente de temperatura K para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)
15.0	0.9991	1.0009	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.9986	1.00039
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072	0.1	0.99876	1.00055	0.1	0.99858	1.00037
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071	0.2	0.99874	1.00054	0.2	0.99856	1.00035
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.9989	1.00069	0.3	0.99872	1.00052	0.3	0.99854	1.00034
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067	0.4	0.99871	1.0005	0.4	0.99852	1.00032
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066	0.5	0.99869	1.00048	0.5	0.9985	1.0003
0.6	0.99901	1.0008	0.6	0.99885	1.00064	0.6	0.99867	1.00047	0.6	0.99848	1.00028
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062	0.7	0.99865	1.00045	0.7	0.99847	1.00026
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061	0.8	0.99863	1.00043	0.8	0.99845	1.00024
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059	0.9	0.99862	1.00041	0.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.0002	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998	0.1	0.99797	0.99977	0.1	0.99775	0.99954
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996	0.2	0.99795	0.99974	0.2	0.99773	0.99952
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994	0.3	0.99793	0.99972	0.3	0.99771	0.9995
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992	0.4	0.99791	0.9997	0.4	0.99769	0.99947
0.5	0.99831	1.0001	0.5	0.9981	0.9999	0.5	0.99789	0.99968	0.5	0.99767	0.99945
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987	0.6	0.99786	0.99966	0.6	0.99764	0.99943
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985	0.7	0.99784	0.99963	0.7	0.99761	0.9994
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983	0.8	0.99782	0.99961	0.8	0.99759	0.99938
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981	0.9	0.9978	0.99959	0.9	0.99756	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.9973	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907	0.1	0.99702	0.99881	0.1	0.99676	0.99855
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904	0.2	0.997	0.99879	0.2	0.99673	0.99852
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902	0.3	0.99697	0.99876	0.3	0.99671	0.9985
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.9972	0.99899	0.4	0.99694	0.99874	0.4	0.99666	0.99847
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897	0.5	0.99692	0.99871	0.5	0.99665	0.99844
0.6	0.9974	0.99919	0.6	0.99715	0.99894	0.6	0.99689	0.99868	0.6	0.99663	0.99842
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892	0.7	0.99687	0.99866	0.7	0.9966	0.99839
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.9971	0.99889	0.8	0.99694	0.99873	0.8	0.99657	0.99836
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.98707	0.99887	0.9	0.99681	0.9986	0.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99585	0.99744
0.1	0.99649	0.99628	0.1	0.99621	0.998	0.1	0.99592	0.99771	0.1	0.99562	0.99741
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797	0.2	0.99589	0.99768	0.2	0.99559	0.99738
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794	0.3	0.99586	0.99765	0.3	0.99556	0.99735
0.4	0.99641	0.9982	0.4	0.99612	0.99791	0.4	0.99583	0.99762	0.4	0.99553	0.99732
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788	0.5	0.9958	0.99759	0.5	0.9955	0.99729
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785	0.6	0.99577	0.99756	0.6	0.99547	0.99726
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783	0.7	0.99574	0.99753	0.7	0.99544	0.99723
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.9978	0.8	0.99571	0.9975	0.8	0.99541	0.9972
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777	0.9	0.99568	0.99747	0.9	0.99538	0.99716

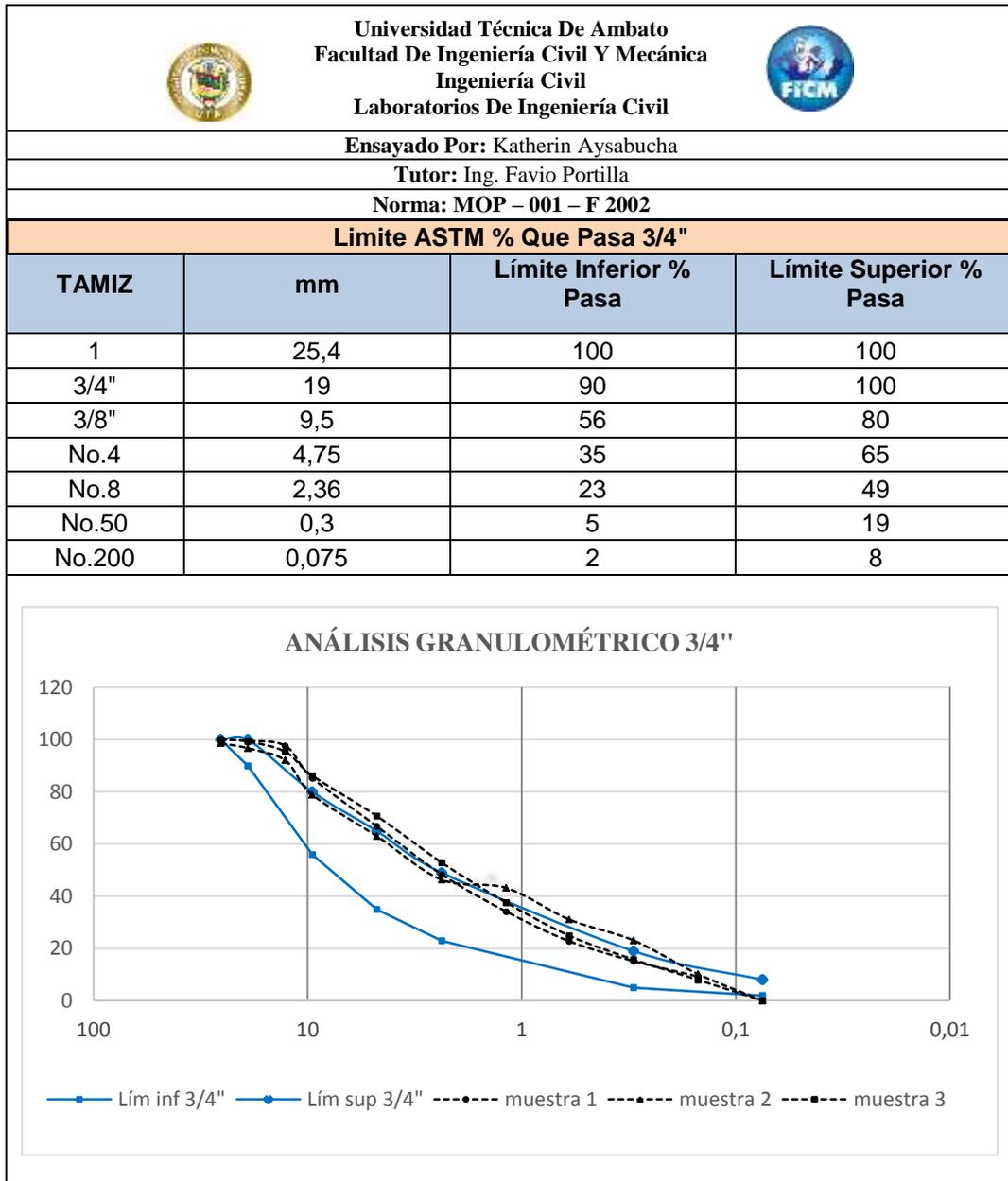
Fuente: I.N.V.E - 128 - 07, *Determinación de la gravedad específica de los suelos y del sellante mineral*

Tabla 41. Ensayo contenido de asfalto aumentando 0.5% y 1% de AC -20

 Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil 			
Ensayado Por: Katherin Aysabucha			
Tutor: Ing. Favio Portilla			
Norma: AASHTO T-164			
ENSAYO DE CONTENIDO DE ASFALTO (NORMA AASHTO T-164)			
Muestra	1%	0,5%	0%
Peso inicial de la muestra	680	680,3	610,2
Peso de la muestra luego de la prueba	598,6	606,4	536,2
Peso inicial del filtro	19,4	18,2	18,1
Peso del filtro luego de la prueba	26,7	22,1	23,1
Residuo en 100 cm ³ de gasolina	0,5	0,5	0,7
Residuo en 8400 cc de gasolina	27,8	27,4	33,5
% asfalto	6,80	6,27	5,82
Valor aproximado	6,8	6,3	5,8

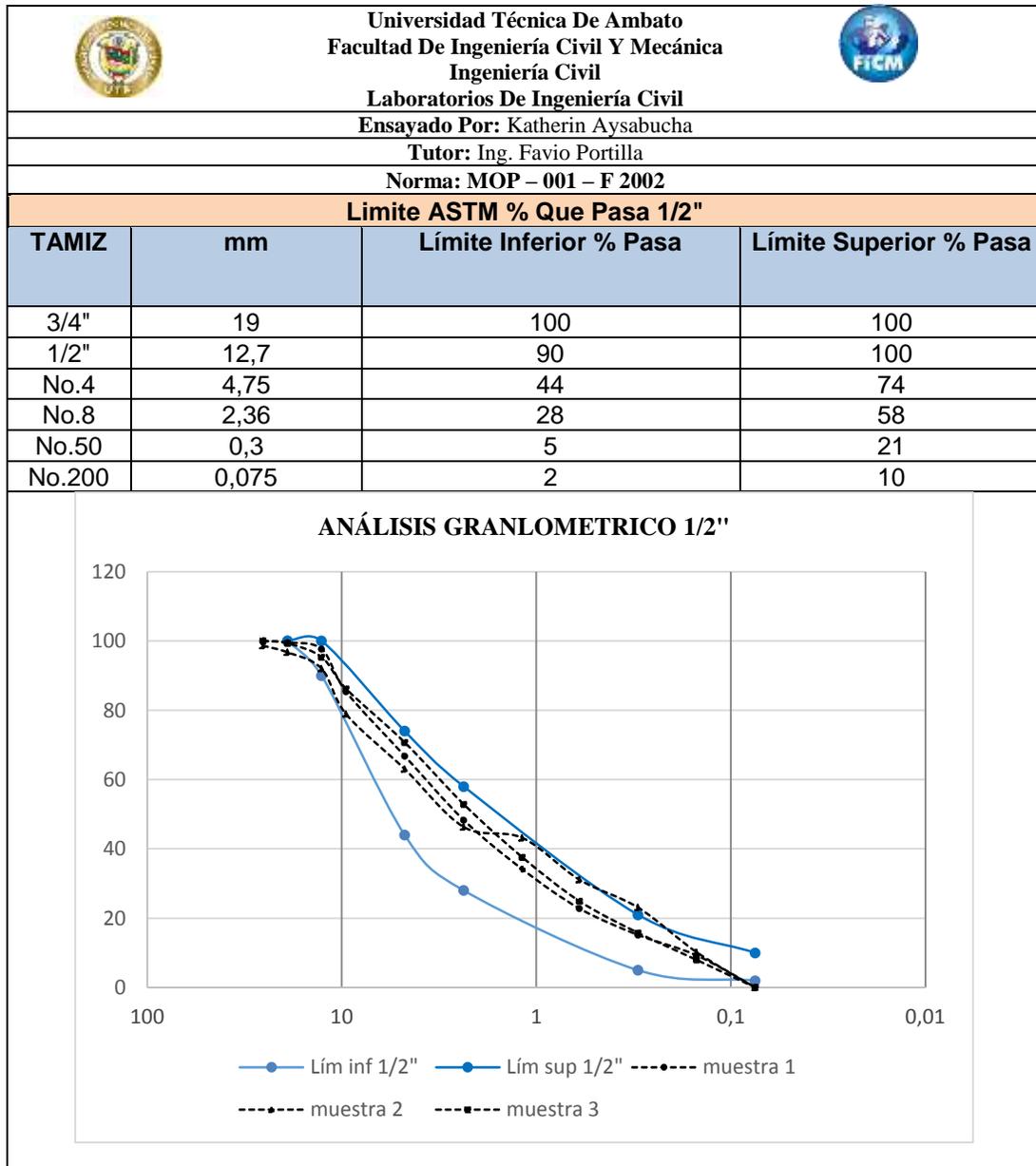
Fuente: Autor

Tabla 42. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en 3/4"



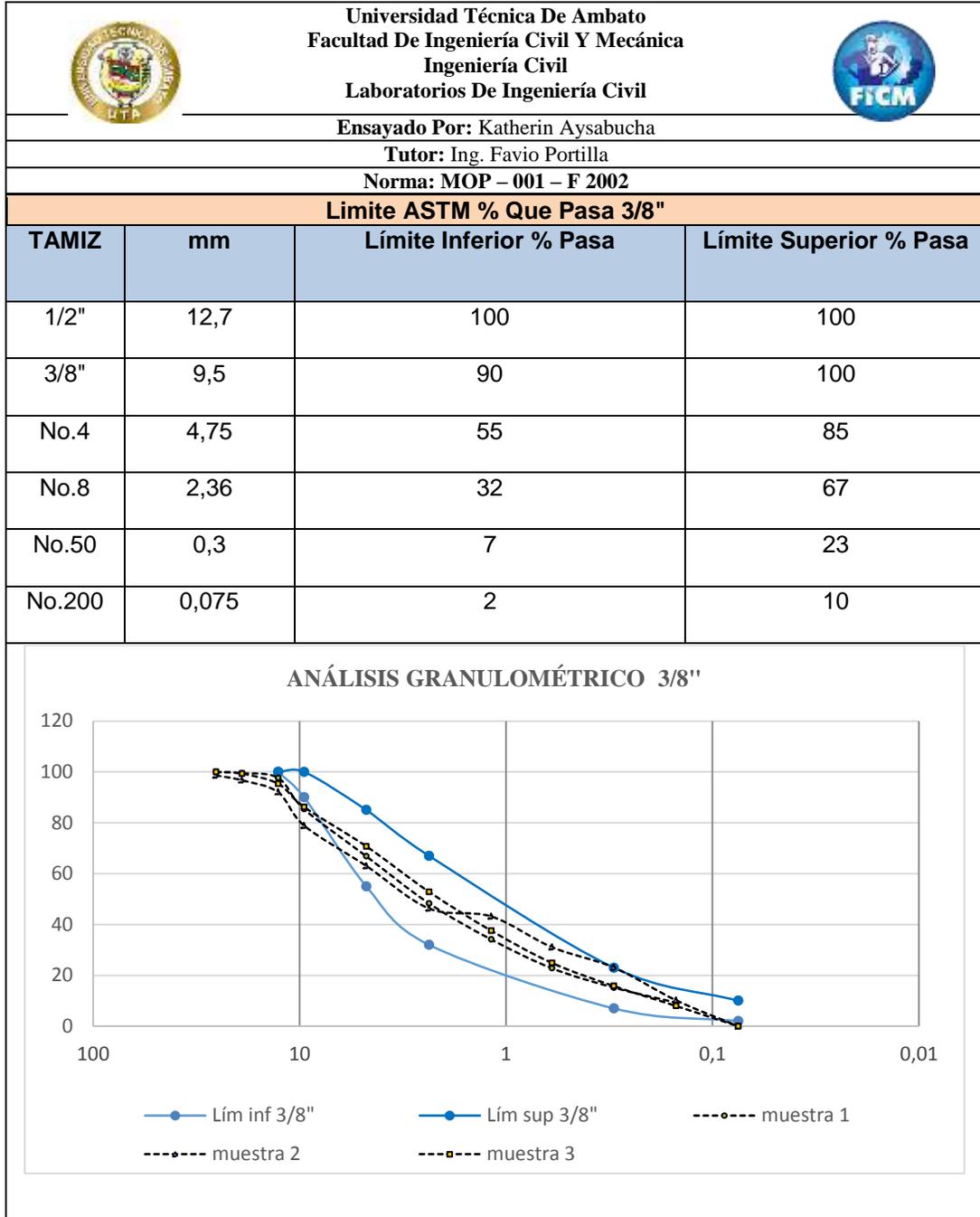
Fuente: Autor

Tabla 43. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en 1/2"



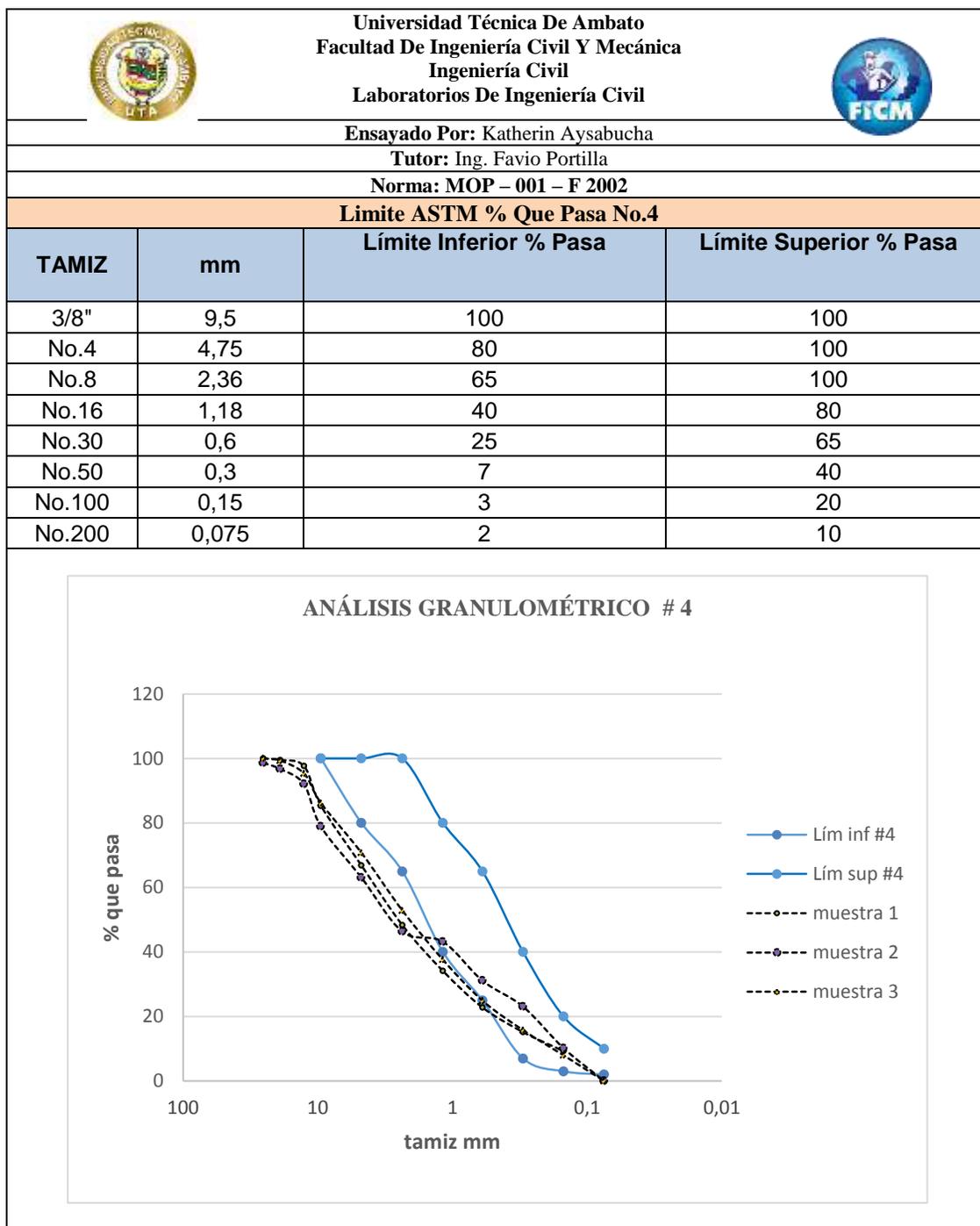
Fuente: Autor

Tabla 44. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en 3/8"



Fuente: Autor

Tabla 45. Análisis Granulométrico de las 3 muestras en No. 4



Fuente: Autor

Tabla 46. Granulometrías de Agregados de ½” para .4.5% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA 4,5 % AC- 20 (54gr)				
TAMIZ	Abertura (mm)	Limites ASTM Inicial	Limites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	57,3	57,3	5	95	171,9
No.4	4,75	44	74	515,7	573	50	50	1547,1
No.8	2,36	28	58	229,2	802,2	70	30	687,6
No.50	0,3	5	21	229,2	1031,4	90	10	687,6
No.200	0,075	2	10	91,68	1123,08	98	2	275,04
pasa200				22,92	1146	100		68,76
Total				1146				3438

Fuente: Autor

Tabla 47. Granulometría de Agregados de ½” para 5% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA 5 % AC- 20 (60gr)				
TAMI Z	Abertura (mm)	Límites ASTM Inicial	Límites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	57	57	5	95	171
No.4	4,75	44	74	513	570	50	50	1539
No.8	2,36	28	58	228	798	70	30	684
No.50	0,3	5	21	228	1026	90	10	684
No.20 0	0,075	2	10	91,2	1117,2	98	2	273,6
pasa20 0				22,8	1140	100		68,4
Total				1140				3420

Fuente: Autor

Tabla 48. Granulometría de Agregados de 1/2" para .5.5% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP- 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA 5,5% AC- 20 (66 gr)				
TAMI Z	Abertura (mm)	Límites ASTM Inicial	Límites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	56,7	56,7	5	95	170,1
No.4	4,75	44	74	510,3	567	50	50	1530,9
No.8	2,36	28	58	226,8	793,8	70	30	680,4
No.50	0,3	5	21	226,8	1020,6	90	10	680,4
No.200	0,075	2	10	90,72	1111,32	98	2	272,16
pasa200				22,68	1134	100		68,04
Total				1134				3402

Fuente: Autor

Tabla 49. Granulometría de Agregados de ½” para .6% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP- 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA 6 % AC- 20 (72 gr)				
TAMI Z	Abertura (mm)	Límites ASTM Inicial	Límites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	56,4	56,4	5	95	169,2
No.4	4,75	44	74	507,6	564	50	50	1522,8
No.8	2,36	28	58	225,6	789,6	70	30	676,8
No.50	0,3	5	21	225,6	1015,2	90	10	676,8
No.20 0	0,075	2	10	90,24	1105,44	98	2	270,72
pasa20 0				22,56	1128	100		67,68
Total				1128				3384

Fuente: Autor

Tabla 50. Granulometría de Agregados de ½” para .6.5% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA 6,5 % AC- 20 (78 gr)				
TAMI Z	Abertura (mm)	Límites ASTM Inicial	Límites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	56,1	56,1	5	95	168,3
No.4	4,75	44	74	504,9	561	50	50	1514,7
No.8	2,36	28	58	224,4	785,4	70	30	673,2
No.50	0,3	5	21	224,4	1009,8	90	10	673,2
No.20 0	0,075	2	10	89,76	1099,56	98	2	269,28
pasa20 0				22,44	1122	100		67,32
Total				1122				3366

Fuente: Autor

Tabla 51. Granulometría de Agregados de ½” para .7% AC - 20

	Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil	
Ensayado Por: Katherin Aysabucha		
Tutor: Ing. Favio Portilla		
Norma: MOP – 001 – F 2002		

1/2				AGREGADOS PARA 7 % AC- 20 (84 gr)				
TAMIZ	Abertura (mm)	Limites ASTM Inicial	Limites ASTM Final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 3 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	55,8	55,8	5	95	167,4
No.4	4,75	44	74	502,2	558	50	50	1506,6
No.8	2,36	28	58	223,2	781,2	70	30	669,6
No.50	0,3	5	21	223,2	1004,4	90	10	669,6
No.200	0,075	2	10	89,28	1093,68	98	2	267,84
pasa200				22,32	1116	100		66,96
Total				1116				3348

Fuente: Autor

Tabla 52. Granulometría de Agregados de ½” para .7% AC - 20

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil</p> </div>  </div>								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA ADOQUINES 6,2 % AC- 20 (210,8 gr)				
TAMIZ	Abertura (mm)	Limite ASTM Inicial	Limite ASTM final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 5 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	159,46	159,46	5	95	797,3
No.4	4,75	44	74	1435,14	1594,6	50	50	7175,7
No.8	2,36	28	58	637,84	2232,44	70	30	3189,2
No.50	0,3	5	21	637,84	2870,28	90	10	3189,2
No.200	0,075	2	10	255,136	3125,416	98	2	1275,68
pasa200				63,784	3189,2	100		318,92
Total				3189,2				15946

Fuente: Autor

Tabla 53. Granulometría de Agregados de 1/2” para adoquines de mezclas asfálticas en caliente con 6.2% AC-20 y de espesor de 7cm

		Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil						
Ensayado Por: Katherin Aysabucha								
Tutor: Ing. Favio Portilla								
Norma: MOP – 001 – F 2002								
1/2				AGREGADOS PARA ADOQUINES 6,2 % AC- 20 (184,45 gr)				
TAMIZ	Abertura (mm)	Limite ASTM final	Limite ASTM final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 5 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	139,5275	139,5275	5	95	697,6375
No.4	4,75	44	74	1255,7475	1395,275	50	50	6278,7375
No.8	2,36	28	58	558,11	1953,385	70	30	2790,55
No.50	0,3	5	21	558,11	2511,495	90	10	2790,55
No.200	0,075	2	10	223,244	2734,739	98	2	1116,22
pasa200				55,811	2790,55	100		279,055
Total				2790,55				13952,75

Fuente: Autor

Tabla 54. Granulometría de Agregados de ½” para adoquines de mezclas asfálticas en caliente con 6.2% AC-20 y de espesor de 6cm

 <div style="text-align: center;"> Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Civil Laboratorios De Ingeniería Civil </div> 								
Ensayado Por: Katherin Aysabucha Tutor: Ing. Favio Portilla Norma: MOP – 001 – F 2002								
½”				AGREGADOS PARA ADOQUINES 6,2 % AC- 20 (158,1 gr)				
TAMIZ	Abertura (mm)	Limite ASTM Inicial	Limite ASTM final	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CANT. 5 MUESTRAS
3/4"	19	100	100	0	0	0	100	0
1/2"	12,7	90	100	119,595	119,595	5	95	597,975
No.4	4,75	44	74	1076,355	1195,95	50	50	5381,775
No.8	2,36	28	58	478,38	1674,33	70	30	2391,9
No.50	0,3	5	21	478,38	2152,71	90	10	2391,9
No.200	0,075	2	10	191,352	2344,062	98	2	956,76
pasa200				47,838	2391,9	100		239,19
Total				2391,9				11959,5

Fuente: Autor

Tabla 55. Corrección por húmeda para la dosificación obtenida por el método de la densidad óptima.

Material		Cantidad en Kg por m ³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de cemento	CA %	CH %	Corrección Humedad CA% - CH%		Cantidad Corregida en kg por saco de cemento
							%	Kg	
W		216,17	0,58	29	-	-	-	2,28	31,28
C		372,71	1	50	-	-	-	-	50
A		725,55	1,95	97,33	1,5	1,1	0,4	0,39	96,94
R		941,89	2,53	126,36	2,3	0,8	1,5	1,9	124,46

Fuente: Ing. Santiago Medina R,

Precios unitarios de adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados

Tabla 56. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados

Rubro:	1			Unidad:	u
Detalle:	Precio Adoquín con agregados reciclados			horas/unidad	unidad
				0,0178	450,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales				5% Mano O	0,003
Máquina Compactadora	3	2,650	7,950	0,018	0,142
SUBTOTAL M					0,145
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1	3,580	3,580	0,018	0,064
SUBTOTAL N					0,064
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Agregados reciclado		kg	2,550	0,004	0,011
cemento asfáltico		kg	0,001	0,300	0,000
SUBTOTAL O					0,012
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			0,220
		INDIRECTOS 15 %			0,03
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,253
		VALOR OFERTADO			0,25

Fuente: Autor

Tabla 57. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados

Rubro:	2			Unidad:	u
Detalle:	Precio Adoquín con agregados no reciclados			horas/unidad	unidad
				0,0178	450,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales				5% Mano O	0,003
Máquina Compactadora	3	2,650	7,950	0,018	0,142
SUBTOTAL M					0,145
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1	3,580	3,580	0,018	0,064
SUBTOTAL N					0,064
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Agregados nuevos		kg	2,392	0,093	0,222
cemento asfáltico		kg	0,158	0,300	0,047
SUBTOTAL O					0,270
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			0,478
		INDIRECTOS 15 %			0,07
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0,550
		VALOR OFERTADO			0,55

Fuente: Autor

Precios unitarios de la estructura de un pavimento articulado adoquines con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados adoquines de hormigón

Tabla 58. Análisis de precios unitarios del replanteo y Nivelación

Rubro:	1			Unidad:	m
Detalle:	Replanteo y Nivelación				
				horas/unidad	unidad
				0,0800	100,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Estación Total	1	3,500	2,670	0,080	0,2136
Herramientas Manuales (5% MO)	1		0,000	0,080	0,045
SUBTOTAL M					0,258
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1	3,580	3,580	0,080	0,286
Albañil	1	3,620	3,620	0,080	0,290
Topógrafo	1	4,010	4,010	0,080	0,321
SUBTOTAL N					0,897
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Clavos		Kg	0,050	2,480	0,124
Estacas		u	4,000	0,200	0,800
SUBTOTAL O					0,924
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B C=A*B	
SUBTOTAL P					0,000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2,079
INDIRECTOS 15 %					0,31
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,391
VALOR OFERTADO					2,39

Fuente: Autor

Tabla 59. Análisis de precios unitarios de la subrasante conformación y compactación con equipo pesado

Rubro:	2			Unidad:	m3
Detalle:	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado				
				horas/unidad	unidad
				0,0080	1.000,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora	1	50,000	50,000	0,008	0,400
Rodillo Vibratorio	1	35,000	35,000	0,008	0,280
Tanquero de Agua	1	20,000	20,000	0,008	0,160
SUBTOTAL M					0,840
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer	1	5,260	5,260	0,008	0,042
Operador Motoniveladora	1	4,010	4,010	0,008	0,032
Operados de Rodillo autopropulsado	1	3,820	3,820	0,008	0,031
ayudante de maquinaria	3	3,620	10,860	0,008	0,087
Peón	3	3,580	10,740	0,008	0,086
SUBTOTAL N					0,278
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL O					0,000
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			1,118
		INDIRECTOS 15 %			0,17
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			1,285
		VALOR OFERTADO			1,29

Fuente: Autor

Tabla 60. Análisis de precios unitarios de la sub-base conformación y compactación con equipo pesado (incluye material)

Rubro:	3			Unidad:	m3
Detalle:	Sub-base conformación y compactación con equipo pesado(incluye material)				
				horas/unidad	unidad
				0,0320	250,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora	1	50,000	50,000	0,032	1,600
Rodillo Vibratorio	0,5	35,000	17,500	0,032	0,560
Tanquero de Agua	0,5	20,000	10,000	0,032	0,320
Herramientas Manuales (5% MO)					0,047
SUBTOTAL M					2,527
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/h r	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer	1	5,260	5,260	0,032	0,168
Operador Motoniveladora	1	4,010	4,010	0,032	0,128
Operados de Rodillo autopropulsado	0,5	3,820	1,910	0,032	0,061
ayudante de maquinaria	2	3,620	7,240	0,032	0,232
Peón	3	3,580	10,740	0,032	0,344
SUBTOTAL N					0,933
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
agua		lt	40	0,01	0,4
sub-base clase 3		m3	1,310	12,000	15,72
SUBTOTAL O					15,720
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			19,180
		INDIRECTOS 15 %			2,88
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			22,057
		VALOR OFERTADO			22,06

Fuente: Autor

Tabla 61. Precios unitario de bermas de hormigón simple de 15*30cm $f'c=180\text{kg/cm}^2$

Rubro:	6	Unidad:	ml
Detalle:	bermas de hormigón simple 15x30 cm $f'c=180\text{kg/cm}^2$		

				horas/unidad	unidad
				0,1231	65,0000
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Concreteira	0,25	5,000	1,250	0,123	0,154
Herramientas Manuales (5% MO)					0,155
SUBTOTAL M					0,309
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil	5	3,620	18,100	0,123	2,228
Peón	2	3,580	7,160	0,123	0,881
SUBTOTAL N					3,110
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Cemento		saco	0,33	7,5	2,475
Ripio		m3	0,02	10	0,2
Arena		m3	0,0428	10	0,428
Agua		m3	0,010	1,000	0,0099
SUBTOTAL O					3,113
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			6,532
		INDIRECTOS 15 %			0,98
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			7,512
		VALOR OFERTADO			7,51

Fuente: Autor

Tabla 62. Análisis de precios unitarios del adoquín con mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados (incluida cama de arena de espesor 5 cm y empotrado con cemento y arena fina)

Rubro:	5	Unidad:	m2
---------------	---	----------------	----

Detalle:	Adoquín con agregados reciclados (incl. Cama de arena e=5 y emporado con cemento y arena fina)				
			horas/unidad	unidad	
			0,2000	40,0000	
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales (5% MO)					0,164
SUBTOTAL M					0,164
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	3	3,580	10,740	0,200	2,148
Albañil	1	3,620	3,620	0,200	0,724
Residente de Obra	0,5	4,030	2,015	0,200	0,403
SUBTOTAL N					3,275
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Adoquín		u	42,000	0,253	10,636
Cemento		saco	0,081	7,500	0,610
Arena		m3	0,050	10,000	0,500
SUBTOTAL O					11,746
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			15,185
		INDIRECTOS 15 %			2,28
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			17,463
		VALOR OFERTADO			17,46

Fuente: Autor

Tabla 63. Análisis de precios unitarios del adoquín de hormigón (incluida cama de arena de espesor 5 cm y emporado con cemento y arena fina)

Rubro:	6	Unidad:	m2
Detalle:	Adoquín con agregados reciclados (incl. Cama de arena e=5 y		

emporado con cemento y arena fina)					
			horas/unidad	unidad	
			0,2000	40,0000	
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales (5% MO)					0,164
SUBTOTAL M					0,164
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	3	3,580	10,740	0,200	2,148
Albañil	1	3,620	3,620	0,200	0,724
Residente de Obra	0,5	4,030	2,015	0,200	0,403
SUBTOTAL N					3,275
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Adoquín		u	42,000	0,350	14,700
Cemento		saco	0,081	7,500	0,610
Arena		m3	0,050	10,000	0,500
SUBTOTAL O					15,810
TRANSPORTE					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					0,000
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			19,249
		INDIRECTOS 15 %			2,89
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			22,136
		VALOR OFERTADO			22,14

Fuente: Autor

Anexos Fotográficos

Obtención de la muestra de agregados reciclados



Recolectar agregados reciclados



obtener la muestra



Proceso de cuarteo



Retirar los vértices y realizar otra vez el proceso de cuarteo



Tomar la muestra necesaria



Llevar al horno la muestra para secarla

Determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados mediante el ensayo de extracción de asfalto Norma AASHTO T 164 - ASTM D 2172



Máquina centrífuga



Secar en el horno el filtro y pesarlo



Pesar el plato vacío



Pesar el plato con la muestra



Colocar en la muestra la gasolina



Cubrir con el papel filtro



Cerrar y proceder al lavado



Coloca una botella y se observa el color de gasolina



Pesar filtro secado



Tomar 100 ml de gasolina



<p>Poner en un recipiente pesado</p>	<p>Quemar la gasolina</p>
 <p>Medir toda la cantidad d gasolina utilizada</p>	 <p>Colocar la muestra en el horno</p>
 <p>Pesar la muestra y colocarle en los tamices</p>	 <p>Tamizar y anotar sus respectivos pesos</p>

Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma MOP – 001 – F – 2002

 <p>Calentar la muestra</p>	 <p>Medir la temperatura</p>
--	--



Pesar la muestra



Compactar la probeta



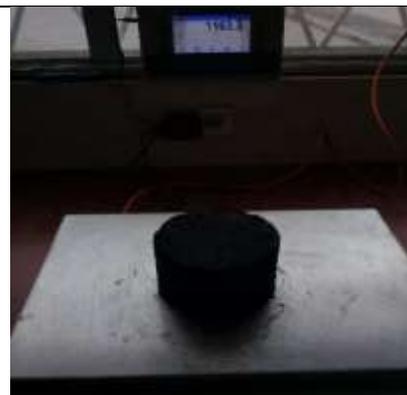
Dejar secar la probeta durante 2 horas



Desmoldar a las 24 horas



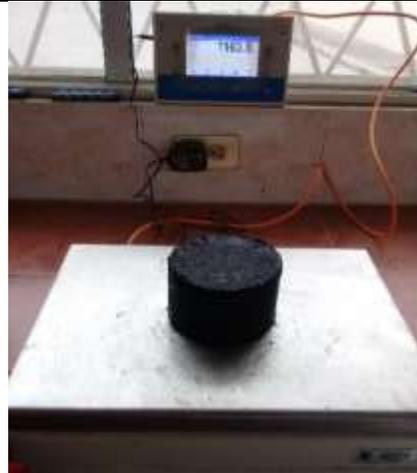
Realizar 3 muestras



Peso seco al aire



Peso en agua



Peso S.S.S en aire



Equipo para baño maría



Tomar la temperatura que este a 60°C



Colocar las briquetas en baño maría durante 30 min



Ensayar la estabilidad y flujo en la máquina de Marshall

**Realización del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica
Norma MOP – 001 – F – 2002**



Mina Los Pinos



Muestra de agregados nuevos



Tamices para granulometría 1/2"



Peso necesario de cada tamiz



Agregados de diferentes tamaños



Agregados finos de diferentes tamaños



Ensayo Rice para mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados y no reciclados utilizando diferentes porcentajes de mezcla asfáltica Norma I.N.V.E 735 – 07





Colocar en la máquina para retirar los vacíos



Llenar de agua en su totalidad y pesar

Ensayo de gravedad específica de la arena



Llenar agua en el picnómetro hasta la marca de aforo y pesar



Pesar el recipiente vacío



Pesar 50 gr de agregados fino



Tomar la temperatura del agua



Añadir el agregado fino en el picnómetro



Remover el picnómetro y pesar



Calentar el agua a 60°C



Colocar el picnómetro en Baño María por 15 minutos



Dejar enfriar y tomar la temperatura a 25°C



Pesar el picnómetro



Colocar la muestra en un recipiente y poner en el horno



Pesar la muestra seca

Gravedad específica de los agregados reciclados



Pesar el picnómetro con agua hasta la marca de aforo



Pesar el picnómetro + agua + agregados reciclados



Tomar la temperatura del agua que este a 60°C



Colocar el picnómetro en baño de agua maría



Dejar enfriar y pesar



Pesar el recipiente después d haberle colocado en el horno

Gravedad Específica del Ripio



Dejar remojar el agregado grueso



Con la ayuda de una franela secar el agregado grueso



Pesar la canastilla vacía



Pesar la canastilla vacía en agua



Pesar la canastilla con agregado grueso



Colocar en el horno y pesar

Fabricación de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados. MOP – 001 – F – 2002



Calentar el agregado reciclado



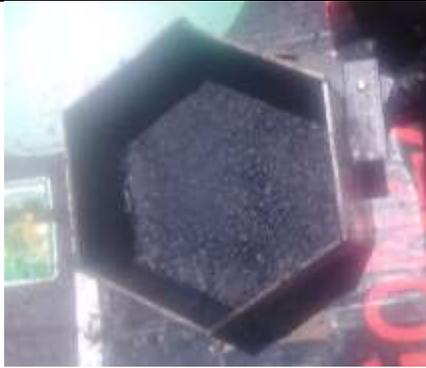
Agregar 0.5% AC-20 y mezclar bien



Engrasar el recipiente y la tapa



Colocar muestra dar 25 pinchazos



Compactar la mezcla con 75 golpes



Medir el adoquín para comprobar su altura



Realizar 5 muestras



Se deben realizar adoquines de espesor 6 cm, 7cm, 8cm

Fabricación de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados. MOP – 001 – F – 2002



Pesar los agregaos necesarios



Pesar los agregados que tienen diferentes

	tamaños
 <p data-bbox="297 741 837 772">Pesar los agregados de diferentes tamaños</p>	 <p data-bbox="862 732 1406 764">Pesar los agregados de diferentes tamaños</p>
 <p data-bbox="423 1245 711 1276">Mezclar los agregados</p>	 <p data-bbox="891 1251 1380 1283">Pesar la cantidad de AC -20 necesaria</p>
 <p data-bbox="358 1755 776 1787">Calentar los agregados a 140 ° C</p>	 <p data-bbox="948 1776 1323 1808">Calentar el AC-20 a 140 ° C</p>



Fabricación de adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados. MOP – 001 – F – 2002





Mezclas los agregados con cementos



Añadir la cantidad necesaria de agua



Colocar los moldes



Añadir la mezcla en los moldes



Desmoldar y colocar en agua por 28 días



Se debe realizar 5 muestras por adoquín

Realización del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados reciclados



Máquina de compresión



Pantalla de resultados



Adoquín ensayado a compresión de 8cm

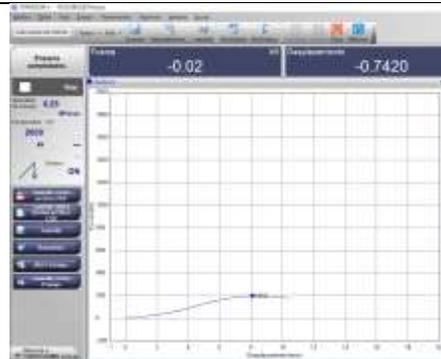


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 8cm



Adoquín ensayado a compresión de 7cm

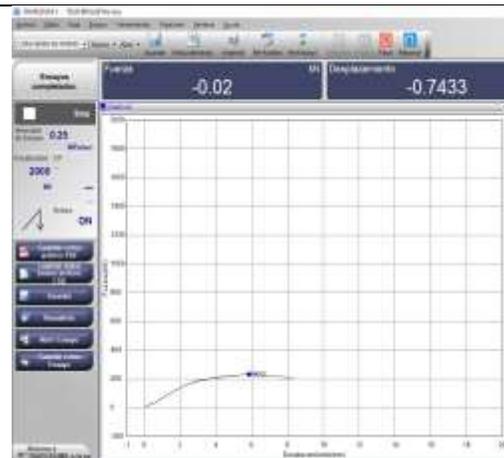


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 7cm



Adoquín ensayado a compresión de 6 cm

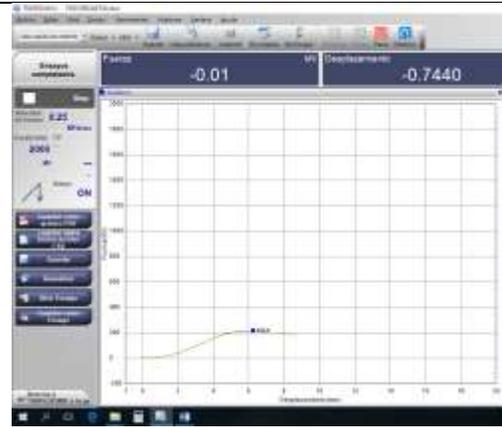


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 6cm

Realización del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados no reciclados.



Máquina de compresión



Pantalla de resultados



Adoquín ensayado a compresión de 8cm

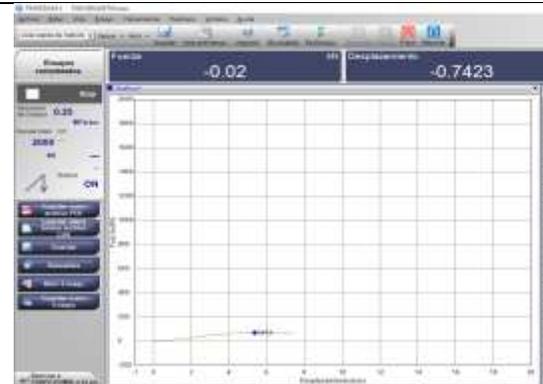


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 8cm



Adoquín ensayado a compresión de 7cm

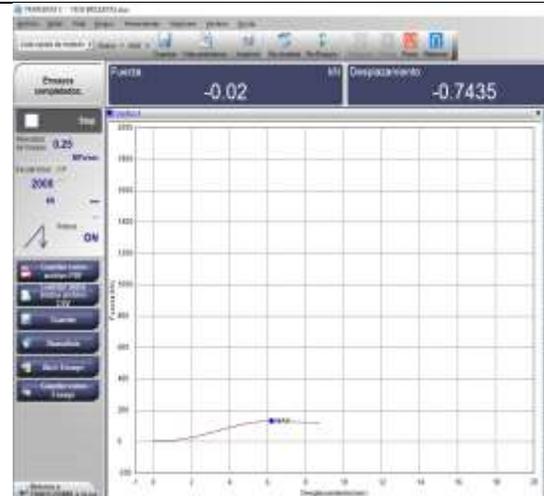


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 7cm



Adoquín ensayado a compresión de 6 cm

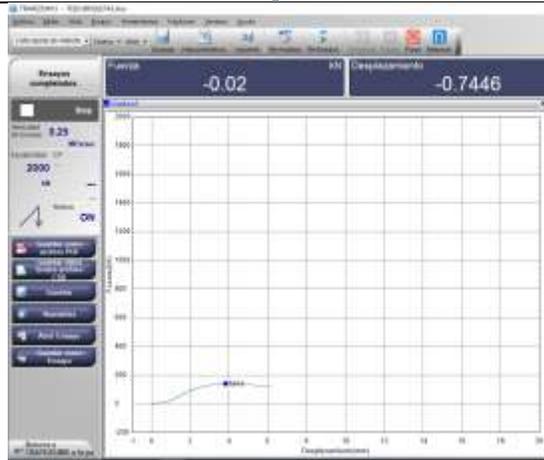


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 6cm

Realización del ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines de hormigón



Máquina de compresión



Pantalla de resultados



Adoquín ensayado a compresión de 8cm



Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 8cm



Adoquín ensayado a compresión de 7cm



Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 7cm



Adoquín ensayado a compresión de 6 cm

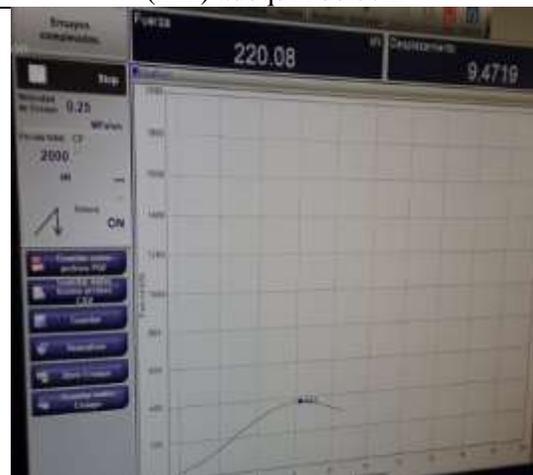


Diagrama Fuerza (KN) vs Desplazamiento (mm) adoquín de 6cm