



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

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

**Tema:**

---

**DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO  
UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS**

---

**Autor:** Ushiña Toapanta Jessica Magaly

**Tutor:** Ing. Mg. Favio Portilla

**Ambato – Ecuador**

**2020**

### **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. A. Favio Portilla, certifico que el presente Trabajo experimental bajo el tema: **“DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS”** realizado por la Srta. Jessica Magaly Ushiña Toapanta, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, enero del 2020



Ing. Mg. Favio Portilla  
**TUTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo, Jessica Magaly Ushiña Toapanta con C.I: 1805050075, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: “**DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS**”, es de mi completa autoría, a excepción de las citas, cuadros y los de origen bibliográfico.

Ambato, enero del 2020



Jessica Magaly Ushiña Toapanta

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental con fines difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación 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



**Jessica Magaly Ushiña Toapanta**

**C.I: 1805050075**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal calificador de grado después de haber revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS”**, de la egresada Jessica Magaly Ushiña Toapanta, 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

Para constancia firma:



.....  
**Ing. Mg. Maritza Ureña**



.....  
**PhD. Diana Coello**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo experimental está dedicado al esfuerzo de cada una de las personas que me han apoyado durante mi carrera estudiantil.*

*A mis queridos padres Alfonso y Blanca por su amor, esfuerzo y confianza depositados en mí durante toda mi formación profesional, por siempre alentarme a seguir adelante hasta cumplir mi meta y pese a las dificultades nunca dejarme caer.*

*A toda mi familia, mis hermanos, mi novio, mis amigos, compañeros y personas muy queridas en mi vida, quienes durante estos años de estudio me han acompañado brindándome su cariño, apoyo y amistad, los cuales me demostraron día a día con palabras de ánimo, muestras de afecto y con los que hemos compartido momentos inolvidables.*

***Jessica Ushiña***

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, quien me regaló la dicha de la vida, quien me conforta en mis momentos difíciles y me bendice todos los días.*

*Mi agradecimiento infinito a mis padres Alfonso Ushiña y Blanca Toapanta ya que sin su apoyo diario e incondicional no hubiese podido llegar muy alto.*

*A mis hermanos, por motivarme a seguir adelante pese a las dificultades que se presentaron en este largo camino.*

*A mi novio, fuente de inspiración para seguir adelante día a día, por brindado su amor, su cariño y estar siempre conmigo apoyándome en mis momentos buenos y malos.*

*A mi tutor, Ing. Mg. Favio Portilla, que nunca faltó de su parte en ayudarme en mi trabajo de investigación cuando yo requería de su orientación con sus sabios consejos.*

*A todas aquellas personas, compañer@s y amig@s, que sin esperar nada a cambio, compartieron sus conocimientos y estuvieron apoyándome durante toda mi carrera estudiantil y durante el desarrollo de este trabajo.*

*A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, a las Autoridades, al Personal Administrativo y en especial a mis docentes calificadores y a todos los Docentes, que con su vocación como maestros han sabido compartir los conocimientos científicos necesarios para mi formación como profesional.*

**Jessica Ushiña**

# ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

## PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	I
AUTORÍA.....	II
DERECHOS DE AUTOR .....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIV
ABSTRACT .....	XV

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación teórica .....	4
1.1.3.1 Pavimento .....	4
1.1.3.2 Asfalto.....	9
1.1.3.3 Reciclado de pavimentos flexibles. ....	25
1.1.3.4 Ensayo de extracción de asfalto en la mezcla.....	29
1.1.3.5 Ensayo granulométrico .....	30



1.1.3.6 Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....	31
1.1.3.7 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados gruesos. ....	33
1.1.3.8 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados finos. ....	34
1.1.3.9 Método Rice.....	35
1.1.3.10 Diseño de pavimentos.....	36
1.1.4 Hipótesis.....	51
1.2 Objetivos.....	51
1.2.1 Objetivo General.....	51
1.2.2 Objetivos Específicos.....	51
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....</b>	<b>52</b>
2.1 Materiales y Equipos.....	54
2.2 Métodos.....	63
2.2.1 Plan de recolección de datos.....	63
2.2.2 Plan de procesamiento y análisis de información.....	65
2.2.2.1 Muestreo de agregados de la mezcla asfáltica reciclada obtenidos mediante el proceso de fresado.....	65
2.2.2.2 Para la determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados se realizará los siguientes ensayos:.....	65
2.2.2.3 Realización de ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	67
A) Ensayo Marshall.....	67
B) Ensayo Rice.....	69
C) Densidad relativa de los agregados grueso.....	70
D) Densidad relativa de los agregados finos.....	70

2.2.2.4	Fabricación de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	71
2.2.2.5	Realización de ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	72
2.2.2.6	Correlación de la resistencia a la compresión entre los dos tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple. ....	72
2.2.2.7	Análisis de costos de pavimentos articulados de adoquines con mezcla asfáltica en frío y adoquines de hormigón simple. ....	72
2.2.2.8	Diseño de un pavimento articulado de adoquines con mezclas asfálticas en frío.	72
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>74</b>
3.1	Análisis y discusión de resultados .....	74
3.1.1	Porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados. ....	74
3.1.1.1	Ensayo de extracción de la mezcla asfáltica reciclada .....	74
3.1.1.2	Análisis granulométrico de los agregados reciclados. ....	75
3.1.2	Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	78
3.1.2.1	Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados .....	78
3.1.2.2	Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados no reciclados .....	84
3.1.2.3	Porcentajes óptimos de emulsión asfáltica obtenidos con mezclas asfálticas de agregados reciclados y no reciclados. ....	90
3.1.2.4	Ensayo del peso específico máximo teórico (Método Rice) para mezclas asfálticas en fríos con agregados reciclados y no reciclados.....	91
1.1.3.7	Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados gruesos. ....	92
1.1.3.8	Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados finos. ....	93

3.1.3 Fabricación de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados. MOP-001-F-2002.....	93
3.1.4 Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.....	95
3.1.5 Correlación de la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple. ....	98
3.1.6 Análisis de costos de pavimentos articulados de adoquines con mezcla asfáltica en frío y adoquines de hormigón simple. ....	100
3.1.7 Diseño de un pavimento articulado de adoquines con mezclas asfálticas en frío. ....	102
3.2 Verificación de la hipótesis.....	105
<b>CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
4.1 Conclusiones .....	106
4.2 Recomendaciones.....	108
MATERIAL DE REFERENCIA .....	110
Bibliografía .....	110
Anexos .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1</b> Estructura de un pavimento .....	4
<b>Figura 1. 2</b> Esquema de un pavimento flexible.....	6
<b>Figura 1. 3</b> Esquema de un pavimento rígido. ....	6
<b>Figura 1. 4</b> Perfil típico de estructura de pavimento articulado. ....	7
<b>Figura 1. 5</b> Composición química del asfalto .....	10
<b>Figura 1. 6</b> Roderas .....	12
<b>Figura 1. 7</b> Piel de cocodrilo .....	13
<b>Figura 1. 8</b> Fase de una emulsión asfáltica .....	15
<b>Figura 1. 9</b> Emulsión asfáltica según su carga eléctrica. ....	18
<b>Figura 1. 10</b> Emulsión asfáltica según su carga eléctrica. ....	20
<b>Figura 1. 11</b> Equipos móviles para la fabricación y extensión de mezclas en frío .....	23
<b>Figura 1. 12</b> Vista general de una central de fabricación de mezclas asfálticas en caliente. .....	23
<b>Figura 1. 13</b> Componentes de la mezcla asfáltica reciclada. ....	26
<b>Figura 1. 14</b> Límites mínimos y máximos de la curva granulométrica $\frac{1}{2}$ ".....	31
<b>Figura 1. 15</b> Ejemplo de gráficos Marshall.....	32
<b>Figura 1. 16</b> Estructura típica de un pavimento de adoquines .....	41
<b>Figura 1. 17</b> Procedimiento de diseño de un pavimento para vías.....	43
<b>Figura 1. 18</b> Tipos de vehículos.....	44
<b>Figura 2. 1</b> Localización de la extracción del material RAP .....	53
<b>Figura 3. 1</b> Granulometría de la muestra 1.....	75
<b>Figura 3. 2</b> Granulometría de la muestra 2.....	76
<b>Figura 3. 3</b> Granulometría corregida de la muestra 1 .....	77
<b>Figura 3. 4</b> Granulometría corregida de la muestra 2 .....	77
<b>Figura 3. 5</b> Curva, Vacíos con aire Vs % de emulsión asfáltica .....	80
<b>Figura 3. 6</b> Curva, Estabilidad Vs % de Emulsión asfáltica .....	81
<b>Figura 3. 7</b> Curva, Peso específico "Bulk" Vs % de Emulsión asfáltica .....	82
<b>Figura 3. 8</b> Curva, Flujo Vs % de Emulsión asfáltica.....	82

<b>Figura 3. 9</b> Curva, Vacío en agregados minerales Vs % de Emulsión asfáltica .....	83
<b>Figura 3. 10</b> Curva, % vacíos llenados de Emulsión Asfáltica Vs % de Emulsión asfáltica .....	83
<b>Figura 3. 11</b> Curva, Vacíos con aire Vs % de emulsión asfáltica .....	86
<b>Figura 3. 12</b> Curva, Estabilidad Vs % de Emulsión asfáltica .....	86
<b>Figura 3. 13</b> Curva, Peso específico “Bulk” Vs % de Emulsión asfáltica .....	87
<b>Figura 3. 14</b> Curva, Flujo Vs % de Emulsión asfáltica.....	88
<b>Figura 3. 15</b> Curva, Vacío en agregados minerales Vs % de Emulsión asfáltica .....	88
<b>Figura 3. 16</b> Curva, % vacíos llenados de Emulsión Asfáltica Vs % de Emulsión asfáltica .....	89
<b>Figura 3. 17</b> Correlación de adoquines elaborados con agregados reciclados y no reciclados.....	98
<b>Figura 3. 18</b> Correlación de adoquines elaborados con agregados reciclados y no reciclados que poseen mayor resistencia a la compresión .....	99
<b>Figura 3. 19</b> Costo Vs Tipos de Adoquines de mayor resistencia (6 cm espesor).....	100
<b>Figura 3. 20</b> Estructura típica de un pavimento de adoquines .....	103
<b>Figura 3. 21</b> Procedimiento de diseño de un pavimento para vías.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. 1</b> Nomenclatura para emulsiones asfálticas .....	20
<b>Tabla 1. 2</b> Emulsión asfáltica catiónica CSS-1H. Emulsión de curado lento .....	21
<b>Tabla 1. 3</b> Granulometría de agregados reciclados .....	28
<b>Tabla 1. 4</b> Límites máximos y mínimos de la granulometría de Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta. ....	30
<b>Tabla 1. 5</b> Clasificación de suelos de acuerdo con el CBR .....	38
<b>Tabla 1. 6</b> Valores de CBR saturados y en equilibrio, en función del límite plástico ....	38
<b>Tabla 1. 7</b> Relación entre (vc/d) y (N) .....	40
<b>Tabla 1. 8</b> Pesos máximos admisibles por ejes .....	50
<b>Tabla 2. 1</b> Equipos, herramientas y materiales utilizado para la realización de los diferentes ensayos. ....	54

<b>Tabla 3. 1</b> Ensayo de extracción del asfalto reciclado .....	74
<b>Tabla 3. 2</b> Granulometría de la muestra 1 de pavimento asfáltico reciclado .....	75
<b>Tabla 3. 3</b> Granulometría de la muestra 2 de pavimento asfáltico reciclado .....	76
<b>Tabla 3. 4</b> Ensayo Marshall de mezcla asfáltica reciclada.....	78
<b>Tabla 3. 5</b> Especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto .....	80
<b>Tabla 3. 6</b> Criterios de diseño para mezclas Marshall.....	81
<b>Tabla 3. 7</b> Ensayo Marshall para agregados no reciclados .....	84
<b>Tabla 3. 8</b> Resultados obtenidos mediante gráficas del ensayo Marshall. ....	90
<b>Tabla 3. 9</b> Datos obtenidos en el Método Rice para agregados reciclados .....	91
<b>Tabla 3. 10</b> Datos obtenidos en el Método Rice para agregados no reciclados .....	91
<b>Tabla 3. 11</b> Gravedad específica del agregado grueso .....	92
<b>Tabla 3. 12</b> Gravedad específica del agregado fino .....	93
<b>Tabla 3. 13</b> Cantidades necesarias para la elaboración de adoquines con agregado reciclados.....	94
<b>Tabla 3. 14</b> Cantidades necesarias para la elaboración de adoquines con agregado no reciclados.....	94
<b>Tabla 3. 15</b> Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con agregados no reciclados.....	95
<b>Tabla 3. 16</b> Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con agregados reciclados.....	96
<b>Tabla 3. 17</b> Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con hormigón simple de 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....	97
<b>Tabla 3. 18</b> Presupuesto referencia para un adoquinado de 600 m <sup>2</sup> utilizando adoquines elaborados con agregados reciclados .....	101
<b>Tabla 3. 19</b> Presupuesto referencia para un adoquinado de 600 m <sup>2</sup> utilizando adoquines convencionales .....	101
<b>Tabla 3. 20</b> Espesores de capas para pavimento articulado .....	105

**Tema:** DISEÑO DE ADOQUINES CON MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS Y NO RECICLADOS

**Autor:** Jessica Magaly Ushiña Toapanta

**Tutor:** Ing. Mg. Favio Portilla

### **RESUMEN EJECUTIVO**

En el desarrollo de la investigación planteada para el diseño de mezclas asfálticas en frío, tiene por objetivo encontrar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica y con ello analizar la estabilidad mediante el ensayo Marshall, evaluar la resistencia con el ensayo de compresión y analizar los costos de fabricación de los adoquines con agregados reciclados y no reciclados para aplicaciones en vías de liviano y bajo tráfico.

Para determinar los parámetros que se menciona en el párrafo anterior, fue necesario ensayar varias probetas encontrando un porcentaje óptimo de 10.5 por ciento para mezclas con agregados reciclados y 10.3 por ciento para los no reciclados y estabilidades de 5250 lb – 4984 lb respectivamente, para el ensayo de los ejemplares, se realizaron 30 adoquines correspondientes a dos tipos de mezclas con tres espesores de 6 cm, 7 cm y 8 cm, con el fin de optar por el espesor que mejor resistencia presente tanto para los agregados reciclados y no reciclados.

Las resistencias máximas obtenidas en los ejemplares fueron de 38.84 Kg/cm<sup>2</sup> para agregados reciclados y 37.66 Kg/cm<sup>2</sup> para los no reciclados. Con el resultado de las resistencias, se tomó la decisión de trabajar con el ejemplar elaborado con agregados reciclados de 6cm de espesor.

Además, se elaboró un análisis del costo final del producto, dando como resultado un valor de USD 0.24 para los adoquines con agregado reciclado y de USD0.39 para los no reciclados, lo que significa que, el adoquín seleccionado es económicamente mucho menor en comparación a un adoquín tradicional que tiene un precio de USD 0.35.

## ABSTRACT

In this study about cold asphalt mixtures we determined the optimal percentage of asphalt emulsion analyzing the by Marshall stability test, also the performance to the compressive strength and finally to determinate the costs of manufacture of cobblestones with recycled and unrecycled aggregates for light and low traffic applications.

In order to determine the parameters mentioned in the previous paragraph, it was necessary to test several test tube finding an optimal percentage of 10.5 percent for mixtures with recycled materials and 10.3 percent for non-recycled materials and stability of 5250 pounds - 4984 pounds respectively, for the test, 30 cobblestones were made as experiments, corresponding to two types of mixtures with three thicknesses of 6 cm, 7 cm and 8 cm, in order to choose the thickness that the best resistance has for both recycled and unrecycled materials.

The maximum strengths obtained in the experiments were 38.84 Kg / cm<sup>2</sup> for recycled materials and 37.66 Kg / cm<sup>2</sup> for non-recycled ones. Due to the result of the strengths, the decision was taken to work with the experiment made with recycled materials of 6cm thick.

In addition, an analysis of the final cost of the product was analyzed, giving as a result in a cost of USD 0.24 for cobblestones with recycled materials and USD0.39 for non-recycled ones, which means that, the selected cobblestone is economically much lower than a traditional cobblestone which costs USD 0.35.



## **CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Antecedentes Investigativos**

#### **1.1.1 Antecedentes**

Los materiales de pavimento asfáltico existentes se eliminan comúnmente durante las operaciones de repavimentación, rehabilitación o reconstrucción. Una vez retirado y procesado, el material del pavimento se convierte en pavimento asfáltico reciclado o recuperado RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), que contiene un valioso aglomerante de asfalto y agregado [1]. Siendo el mismo considerado una fuente artificial de agregados pétreos, los cuales pueden ser reutilizados según la calidad que presenten. Si esto ocurre, existe una menor exigencia en la cantidad de agregados vírgenes para la producción de las mezclas por lo que se requiere una menor explotación de las canteras, conservando las fuentes naturales de agregados [2].

Durante los últimos años se ha desarrollado investigaciones de gran importancia para el estudio de pavimentos. En 1987, el congreso de los EEUU designó USD 150 millones de dólares a un Programa de Investigación de Carretera Estratégica para la investigación al mejoramiento del estudio de carreteras, reforzando principalmente las áreas de asfalto, concreto, operación de caminos y comportamiento de los pavimentos en el tiempo [3].

A principios de la década de 1990, la Administración Federal de Carreteras y la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. Estimaron que más de 90 millones de toneladas de pavimento asfáltico se recuperaban (es decir, se convertían en material adecuado para su uso) cada año, y más del 80 por ciento de RAP se reciclaba, lo que hacía que el asfalto fuera el más material frecuentemente reciclado [1].

El trabajo de investigación desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile elaborado por: Carlos Marín, Guillermo Thenoux, David Saldaña y Robinson Lucero; bajo el título “PAVIMENTOS DE BLOQUES ASFÁLTICOS PARA VÍAS DE BAJO

VOLUMEN DE TRÁNSITO”, donde se llevó acabo la elaboración de bloques denominados “AdoRap”, dichos bloques tienen la incorporación de material asfáltico recuperado RAP. En el resultado de la investigación se encontró que el módulo elástico equivalente de la capa de bloques asfálticos oscila entre 300 Mpa y 800 MPa teniendo un 95% de confiabilidad. También ratifica que estos bloques son prefabricados brindando la posibilidad de tener un control industrial en su fabricación y su colocación en el terreno se hace simple y sencilla, sin la necesidad de la utilización de máquinas especializadas y solo es necesario el uso de mano de obra [4].

Como segundo antecedente investigativo se tiene el trabajo experimental previa a la obtención de Magister en Ciencias de la Ingeniería presentado por Víctor Fabian Armijos Cuenca en la Pontificia Universidad Católica de Chile, bajo el título “ESTUDIO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS EN BASE A BLOQUES DE ASFALTO”, donde concluye que los resultados de resistencia a compresión obtenidos de los bloques de emulsión asfáltica presentan similares características mecánicas que un pavimento de asfalto en caliente [3].

Así también, se puede determinar la carga admisible del bloque de asfalto (Adofalto), considerando un promedio de resistencia a compresión igual a 20 Kg/cm<sup>2</sup> y la superficie del adofalto de 375 cm<sup>2</sup>, se obtiene que dicho bloque tiene una resistencia máxima aproximada a compresión igual a 75 kN, considerando que dichos elementos trabajan generalmente a compresión [3].

### **1.1.2 Justificación**

En los últimos años, el RAP se ha utilizado cada vez más debido a sus grandes ventajas en la construcción de infraestructura de pavimento sostenible siendo uno de los materiales más populares y ampliamente utilizados en la industria de la construcción debido a su alta resistencia y versatilidad [5].

El uso de materiales reciclados en la construcción de carreteras se está convirtiendo en una práctica cada vez más común. Existen dos razones principales, siendo la primera el beneficio económico mediante la reducción de costos de construcción, así como el costo

de disposición de RAP. La segunda es la reducción del impacto ambiental que en este caso busca alternativas que reduzcan la explotación de recursos naturales [6].

Para ello, la práctica común es recurrir a la obtención de materiales innovadores con la reutilización de los extraídos en diferentes vías de tránsito vehicular, lo que produce un doble beneficio para el medio ambiente al reducir la cantidad de desechos, además cuando se realiza una rehabilitación de los pavimentos se ha enfocado en el reciclado de sus materiales específicamente en el fresado de las capas puramente asfálticas [7].

Este trabajo presentará los resultados de una investigación experimental para el diseño de adoquines construidos mediante la incorporación de material RAP elaborados con agregados naturales, los cuales podrán ser aplicados en caminos de bajo y medio volumen de tránsito como capa de rodadura de un pavimento articulado [8].

En Ecuador, la fabricación de adoquines con mezclas asfálticas es todavía un campo poco desarrollado, sin embargo, ya existen algunos precedentes en distintos países. Una investigación se realizó en Santiago de Chile por Armijos (2011) quien concluye que los resultados obtenidos en este estudio demuestran la reciclabilidad de las mezclas de asfalto. Donde también indica que la resistencia a compresión de un adoquín con mezcla asfáltica en caliente es más alta que un adoquín con mezcla asfáltica en frío [3].

Con la elaboración de este nuevo producto se ofrece enormes ventajas en términos de sostenibilidad y ahorro en costos. Al reutilizar los materiales para el mismo propósito para el que fueron diseñados, se logra una reducción importante en las emisiones producidas en estas mezclas asfálticas, principalmente asociadas al proceso de producción de nuevos materiales y la vez optimizar los costos constructivos en vías [9].

La finalidad de la presente investigación es diseñar adoquines con mezcla asfáltica en frío reutilizando agregados provenientes de un proceso de fresado de la carpeta asfáltica de la Av. Víctor Hugo del cantón Ambato en la provincia de Tungurahua.

### **1.1.3 Fundamentación teórica**

#### **1.1.3.1 Pavimento**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados como se muestra en la figura 1.1.

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento [10].



**Figura 1. 1** Estructura de un pavimento [10].

##### **1.1.3.1.1 Características que debe reunir un pavimento según [10].**

Un pavimento para cumplir apropiadamente todas sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- Resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial apropiada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos. Igualmente, debe ser resistente al desgaste causado por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los beneficiarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Ser durable.
- Presentar condiciones apropiadas respecto al drenaje.
- Ser económico
- El ruido de rodadura, tanto en el interior del vehículo como en el exterior, debe ser adecuadamente moderado.
- Poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

#### **1.1.3.1.2 Clasificación de los pavimentos.**

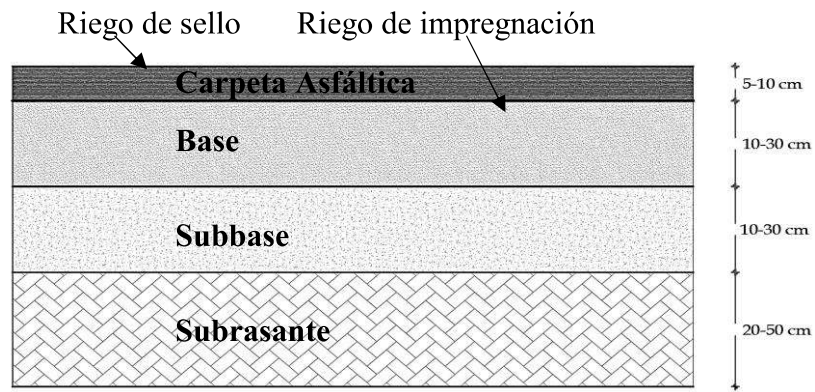
En nuestro medio los pavimentos se clasifican de la siguiente manera: pavimento flexible, pavimento rígido, pavimento semirrígido o semiflexible y pavimento articulado [10].

##### **Pavimento flexible**

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra [10].

En general, los pavimentos flexibles consisten en una superficie bituminosa soportada por una capa de material granular, y una capa de una mezcla adecuada de materiales gruesos y finos. Las cargas del tránsito se transfieren desde la superficie de rodamiento a los materiales subyacentes de soporte, a través del contacto de los agregados, el efecto friccionante de los materiales granulares y la cohesión de los materiales finos.

En la figura 1.2 se muestra cada uno de los componentes que corresponden a un pavimento flexible: subrasante o afirmado, la subbase, la base y la superficie de rodadura. El funcionamiento depende del trabajo satisfactoria de cada componente [11]:

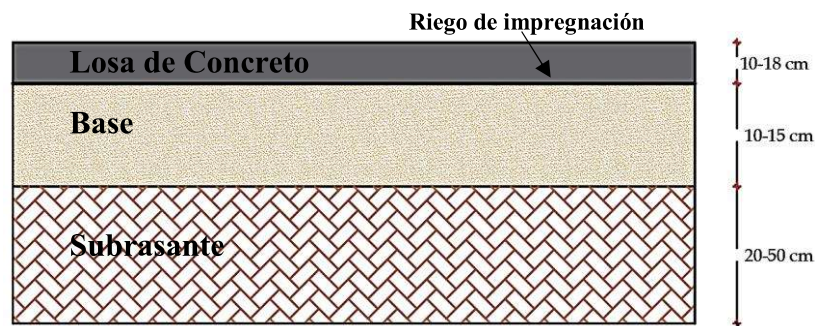


**Figura 1. 2** Esquema de un pavimento flexible.

**Fuente:** Autor

### ✚ Pavimento rígido

Son aquellos que están compuestos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. El concreto es capaz de resistir en cierto grado esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es adecuadamente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y de esta manera, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento [12].



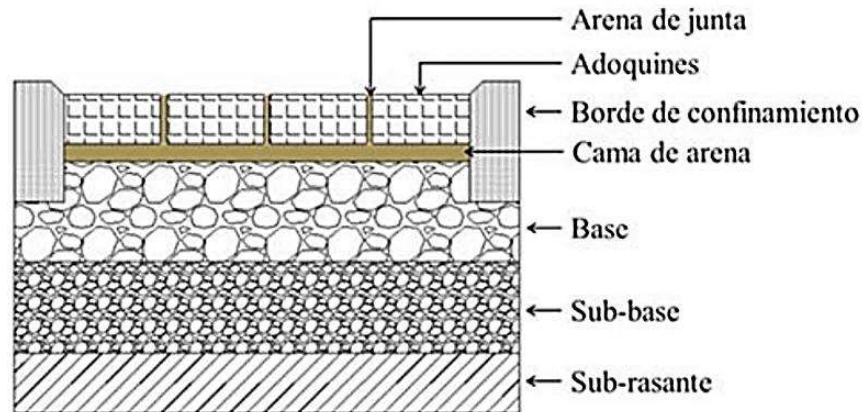
**Figura 1. 3** Esquema de un pavimento rígido.

**Fuente:** Autor

### ✚ Pavimento Articulado

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesores uniformes e

iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento [12].



**Figura 1. 4** Perfil típico de estructura de pavimento articulado [13].

### **Funciones de las capas de un pavimento articulado**

#### **❖ La base**

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados [12]. Tiene la función de absorber la mayor parte de cargas verticales producidas por el tráfico. Según la intensidad y la magnitud del tráfico pesado se utiliza bases granulares o bases tratadas [14].

#### **❖ Capa de arena**

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 [12]. Su granulometría debe estar comprendida entre 2 mm y 6 mm y su espesor de 2 cm, lo cual exige un espesor inicial, antes del vibrado y compactación, comprendido entre 3cm y 5 cm. Espesores superiores aumentan las deformaciones permanentes originadas por el tráfico [14].

### ❖ **Adoquines**

Los adoquines son piezas prefabricadas fabricadas industrialmente por lo presentan las características propias de este tipo de procesos: regularidad y homogeneidad, perfección de acabado, posibilidad de formas diversas. Su peso y dimensiones permiten su manipulación a mano. El espesor varío entre los 6 y 12 cm y sus formas pueden ser muy variadas, distinguiéndose los adoquines clásicos, de planta regular y los machihembrados, de muy diferentes formas, que permite una cierta trabazón entre ellos. Presenta elevada resistencia a la rotura y al desgaste por abrasión [14].

Deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito, y en especial, el desgaste producido por éste [12].

### ❖ **Sello de arena**

Se sitúa entre los adoquines transmitiendo por rozamiento las cargas verticales entre ellos [14]. Está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de estas y contribuye al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura [12]. Es una arena fina, con tamaño máximo de 1.25 mm [14].

### ✚ **Bermas y remates de hormigón simple**

En los inicios y finales de las vías y en curvas pronunciadas, se utilizarán bermas de confinamiento, estas serán de hormigón simple de 210Kg/cm<sup>2</sup> y de 30 cm de alto por 15 cm de ancho.

Las bermas de hormigón dispuestas transversalmente irán distanciadas cada 60m, cuando la pendiente sea inferior a1 4%; cada 40m, cuando la pendiente sea mayor que el 4% y menor que 8%; y cada 2 m, cuando la pendiente sea mayo que 8%, además se implementarán estas bermas en sitios de cambios 08 dirección del adoquinado

El hormigón simple consiste en una mezcla de cemento Portland tipo I, agregados finos y gruesos combinados en proporciones adecuadas de acuerdo con la resistencia mínima requerida.



Se colocará el hormigón en encofrados limpios y húmedos en un tiempo máximo de 60 minutos, si se pasa de este tiempo será rechazado, la compactación del hormigón se hará con un vibrador y su duración en el hormigón será necesaria para no producir segregación de materiales. El curado del hormigón se podrá realizar doce horas después de vaciado y se continuará durante 7 días [14].

### **1.1.3.2 Asfalto**

El asfalto es un material de color oscuro, que presenta propiedades ligantes y aglutinantes, confirmado por una serie muy compleja de elementos y compuestos en los que sobresalen los hidrocarburos solubles en gran parte en disulfuro de carbono, presenta consistencia semisólida a las temperaturas ambientes ordinarias, pero tiende rápidamente a la liquidez al incrementarse la temperatura. Esta última propiedad ha permitido adecuarlo a muchos usos en la construcción de distintas obras civiles [15].

Otro autor lo define como un material aglomerante de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados Asfaltos Naturales, o por medio de procesos de destilación industrial cuyo componente predominante es el Bitumen [16].

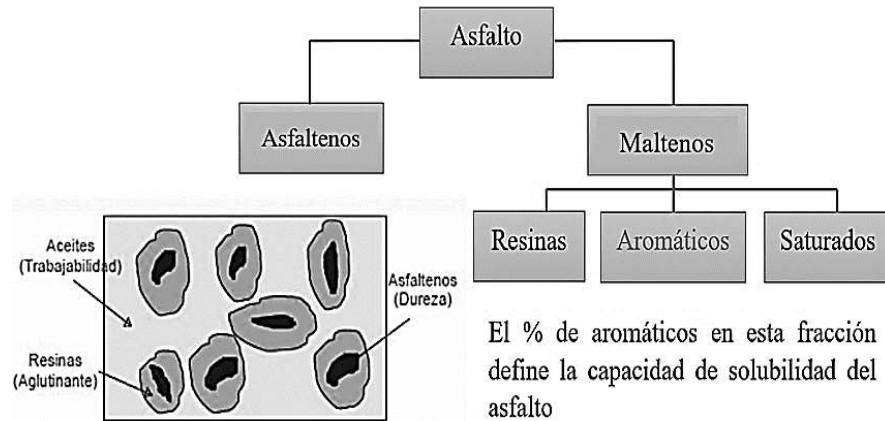
#### **1.1.3.2.1 Propiedades del asfalto**

La materia se define como todo aquello que constituye un mundo físico. Existen dos propiedades de la materia necesarias de conocer: las físicas y las químicas.

**Propiedades Químicas:** El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma más ventajosa posible [17].

Básicamente, el Asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros

elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano puede separarse en dos partes principales asfaltenos y máltenos [17], [18].



**Figura 1. 5** Composición química del asfalto [17].

**Propiedades Físicas:** Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras pueden ser [17].:

#### - Durabilidad

La resistencia al envejecimiento o durabilidad hace referencia a la resistencia de las capas de rodadura a los agentes externos. Es un fenómeno complejo, ligado al envejecimiento del betún y en el que interviene la luz solar, la oxidación por el aire y el agua, las heladas, la acción de los carburantes y aceites provenientes del tráfico, el efecto de las sales fundentes y de la propia helada.

Algunos componentes de este proceso son irreversibles. El envejecimiento da lugar a la aparición de peladuras, descascarillados, fisuras, pérdidas de material. Sin embargo, cabe afirmar que, si la rodadura está bien proyectada y construida, será la pérdida de sus cualidades funcionales, y no el envejecimiento, lo que determinará el fin de su vida útil [14].

#### - Estabilidad

Se entiende como la aptitud para resistir cargas y soportar las tensiones producidas, sin deformaciones excesivas. La estabilidad es consecuencia de las dos componentes

de la resistencia: ángulo de rozamiento interno del esqueleto mineral y cohesión suministrada por el conglomerante [14].

- **Flexibilidad**

La flexibilidad permite a una mezcla admitir sin fisuración las deformaciones impuestas. Guarda una relación directa con la fatiga y tiene importancia cuando la mezcla se extiende sobre un medio deformable, tal como una capa granular o un tablero de un puente [14].

- **Trabajabilidad**

Propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada en obra. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera demasiado esfuerzo. Esta propiedad, generalmente depende de uno, o una combinación, de los siguientes factores: características del agregado, la granulometría, el contenido, y la viscosidad del asfalto [19].

- **Impermeabilidad**

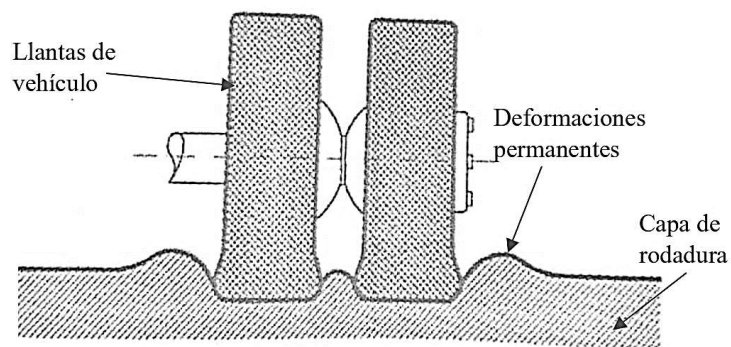
La impermeabilidad es una de las exigencias que deben imponerse a las mezclas bituminosas, a fin de proteger a las capas inferiores y, en general, a la infraestructura, de los efectos del agua. Esto no significa que necesariamente esta misión deba confiarse a la capa de rodadura y así, el empleo de rodaduras constituidas por mezclas drenantes o algún tipo de mezclas discontinuas, en ambos casos permeables, exige disponer una mezcla bituminosa impermeable como capa inmediatamente inferior [14].

- **Resistencia a la deformación plástica**

Una de las propiedades importantes que, durante años, constituyeron uno de los mayores inconvenientes de estas mezclas para su utilización en determinadas

circunstancias. Se trata de deformaciones permanentes y no recuperables producido por el tráfico pesado, alta temperatura o baja velocidad de circulación. Variables que influyen en su formación, aparte tráfico y temperatura, son el tipo y cantidad de ligante, su susceptibilidad térmica, la rigidez polvo mineral-betún y las características granulométricas del esqueleto mineral de la mezcla, así como la angulosidad del árido[14].

Las deformaciones plásticas más frecuentes son las roderas, que aparecen longitudinalmente, marcando las rodadas de los vehículos pesados como se muestra en la figura 1.6 y las deformaciones en tela ondulada, en zonas de esfuerzos orbitales intensos y frecuentes[14].

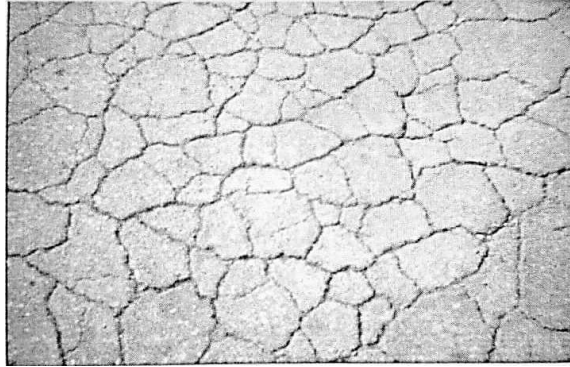


**Figura 1. 6** Roderas [14].

#### - Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga toma valor con comportamientos elásticos, a bajas temperaturas y elevadas velocidades de paso de las cargas [14].

Una resistencia insuficiente produce un aumento de la deformación y la fisuración en piel de cocodrilo como se muestra en la figura 1.7



**Figura 1. 7** Piel de cocodrilo [14].

#### - **Resistencia al deslizamiento**

La resistencia al deslizamiento, sólo necesaria en capas de rodadura, ha de ser suficiente para garantizar una conducción segura y ha de mantenerse con el paso del tiempo. Para eso ha de exigirse altos valores del coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso, microtextura áspera y microtextura rugosa [14].

#### **1.1.3.2.2 Tipos de asfaltos**

La mayor parte de asfaltos son utilizados en trabajos de pavimentación, destinándose una producción menor para aplicaciones industriales, como impermeabilizante, aislantes. De acuerdo con su aplicación, los asfaltos podemos clasificarlos en dos grupos:

##### **a) Asfaltos para pavimento.**

- **Cemento Asfáltico:** El cemento asfáltico es un ligante denso que a la temperatura ambiente es semisólido, usualmente pegajoso y de color variable entre café muy oscuro y negro [12].

Es un material para su aplicación en trabajos de pavimentación, pues aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis [20].

El cemento asfáltico se prepara comercialmente en cinco grados o rangos de consistencia definidos con base en el ensayo de penetración que se describirá más

adelante. La designación corriente de los cinco grados de cemento asfáltico utilizados en pavimentación y su significado correspondiente es como sigue [12]:

- ❖ AC 40-50: Cemento asfáltico con penetración entre 40 y 50 décimas de milímetro.
- ❖ AC 60-70: Cemento asfáltico con penetración entre 60 y 70 décimas de milímetro.
- ❖ AC 85-100: Cemento asfáltico con penetración entre 85 y 100 décimas de milímetro.
- ❖ AC 120-150: Cemento asfáltico con penetración entre 120 y 150 décimas de milímetro.
- ❖ AC 200-300: Cementos asfáltico con penetración entre 200 y 300 décimas de milímetro.
- ❖ Los AC 200-300 son los más blandos, son moderadamente firmes a la temperatura ambiente y el dedo penetra fácilmente en ellos. El grado más duro los constituyen los AC 40-50 y tienen una consistencia tal que a la temperatura ambiente el dedo sólo alcanza a producir en ellos una leve huella superficial. El grado más empleado en los pavimentos asfálticos corrientes es el AC- 85-100.

➤ **Asfaltos líquidos:** Los asfaltos líquidos conocidos también como cut-backs o asfaltos rebajados, se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Si el solvente usado en la preparación del asfalto líquido es muy volátil, puede escapar rápidamente por evaporación y si su volatilidad es baja se evapora más lentamente. Con base en la rapidez con que se produce la evaporación del solvente, fenómeno que se conoce más como curado del asfalto, lo cual los asfaltos rebajados se dividen en tres tipos [12]:

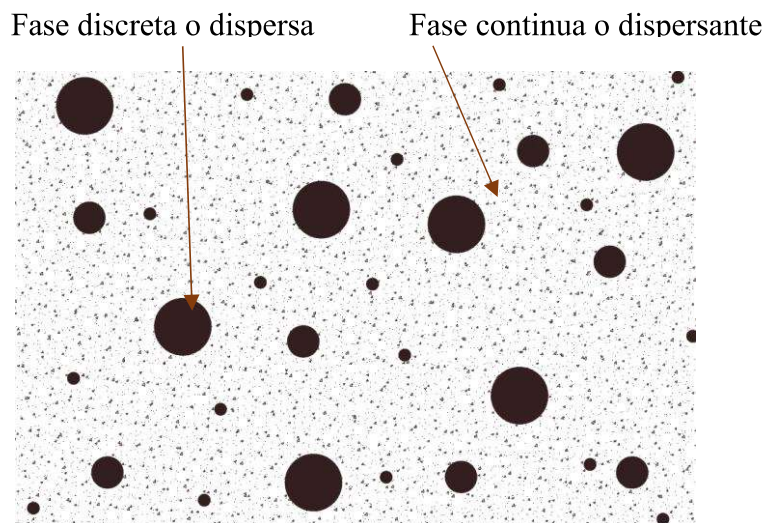
- ❖ Asfaltos rebajados de curado lento (SCJ, cuyo solvente es un aceite pesado de baja volatilidad, usualmente del tipo Fuel-oil.
- ❖ Asfaltos rebajados de curado medio (MC), cuyo solvente típico es el kerosene.

- ❖ Asfaltos rebajados de curado rápido (RCJ, cuyo solvente es un líquido volátil, generalmente del tipo nafta o gasolina.

➤ **Emulsiones asfálticas:**

La emulsión asfáltica se define como la dispersión de micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa estabilizada químicamente, la cual es utilizada básicamente para la producción de mezclas asfálticas en frío (mezclas abiertas, micro aglomerados [mezclas densas], reciclados, estabilizaciones, etc.) y como ligante emulsionado en riegos [21].

La emulsión que se utiliza en la tecnología en frío se puede distinguir en dos fases: una discontinua conformada por gotitas esféricas de cemento asfáltico y una continua conformada por el medio en el cual se dispersa. Cuando las dos fases permanecen en equilibrio sin que las partículas en suspensión se aglomeren o sedimenten, se dice que la emulsión es estable. Ciertas emulsiones exigen la presencia de un agente emulsificador para conservar la estabilidad [12].



**Figura 1. 8** Fase de una emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

Las emulsiones asfálticas son dispersiones en agua de glóbulos asfálticos de 2 a 5 micrones de diámetro, que se mantienen estables en presencia de un agente emulsificante

que puede ser jabones resultantes del tratamiento de ácidos grasos o resinas con bases fuertes (usados para la fabricación de emulsiones aniónicas) o los resultantes de la acción de los ácidos minerales sobre compuestos amínicos (usados para la elaboración de emulsiones catiónicas) [12].

La emulsión asfáltica por utilizar debe obedecer a un diseño previo, de acuerdo a las características de los agregados, mezcla, tipo de aplicación, condiciones ambientales y climatológicas.

Las emulsiones asfálticas recomendadas para morteros asfálticos son normalmente del tipo CSS-1, CSS-1h (emulsión catiónica de ruptura lenta) y CQS-1h (emulsión catiónica de ruptura rápida para mezclas); las cuales deberán ser especialmente ensayadas para verificar la compatibilidad y reactividad con los agregados y deberán ser suministradas con el correspondiente certificado de análisis y producción de acuerdo con el diseño solicitado [21].

### **Componentes de la Emulsión [22], [15].**

Los componentes básicos que conforman una emulsión asfáltica son:

- **Cemento asfáltico:** es el elemento principal que constituye entre un 50% y un 75% de la misma. Es un cemento asfáltico que cumple con las características físico - químicas y reológicas requeridas para obtener una buena emulsificación.

El asfáltico está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos y su composición química es muy variada. La estructura coloidal del asfalto depende de la naturaleza química y del porcentaje de moléculas de hidrocarburos y de la relación entre las mismas.

Algunas propiedades del cemento asfáltico afectan significativamente al producto final, sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto puede ser emulsionado.

- **Agua:** el agua es de vital importancia en la fabricación de la emulsión, siendo el segundo componente de esta, su contribución a las propiedades deseadas en el



producto final no puede ser minimizada. Se debe controlar los minerales como el calcio y magnesio, debido a que afectan las propiedades químicas de una emulsión asfáltica estable. El agua potable puede no ser adecuada su utilización, sin un previo tratamiento.

- **Agentes Emulsivos:** aunque cuantitativamente es menor que el cemento asfáltico se considera como el elemento esencial para su producción. La función principal es estabilizar y evitar la coalescencia de la emulsión (unión de los glóbulos del cemento asfáltico) y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante para la clasificación de las emulsiones tales como: aniónicas, catiónicas o no iónicas.
- **Aditivos:** varias veces los emulsificantes vienen acompañados por aditivos con el fin de mejorar alguna característica específica de la emulsión como, por ejemplo: viscosidad, adherencia, tiempo de rotura entre otro. Está compuesta químicamente de los clorhidratos de aminas y generalmente están compuestos clorhidratos de poliaminas grasas o de poliamina y diamina.

### **Tipos de emulsiones**

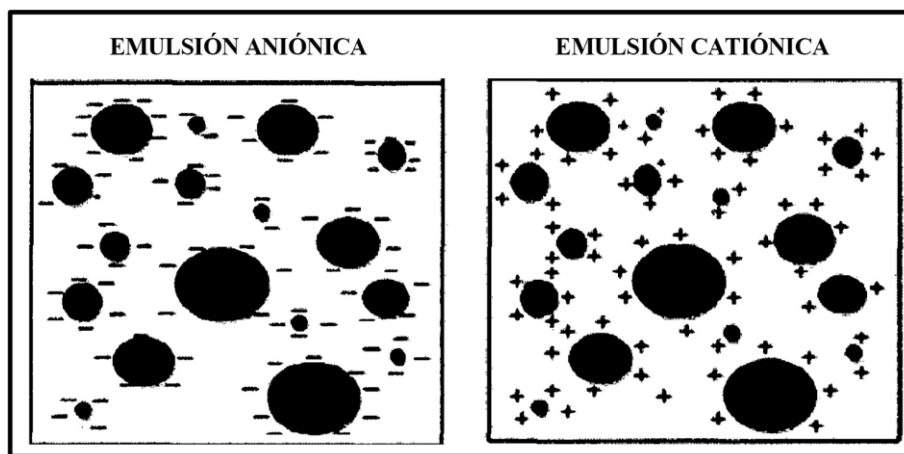
Las emulsiones se dividen según su carga eléctrica y según su velocidad de rotura:

#### **En cuanto a la carga de eléctrica, pueden ser:**

- **Catiónicas:** Son productos de la reacción entre ácidos inorgánicos fuertes, como el ácido clorhídrico con aminas grasas. Al disolverse en agua, se ionizan generando un anión cloruro y un catión R- HN/, responsable de la densidad de la carga positiva alrededor del glóbulo de asfalto[15].
- **Aniónicas:** Son sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena más o menos lineal, ramificada, cíclica. Las moléculas de los jabones, cuya fórmula general puede considerarse del tipo R - COONa, al disolverse en el agua se ionizan,

dando lugar a la aparición en la disolución de un cierto número de cationes Na o K y al mismo número de aniones R-COO-, que constituyen realmente el emulsificante aniónico [15].

Cuando el glóbulo de asfalto, por la presencia del emulsionante en su superficie, adquiere carga positiva se dice que la emulsión es Catiónica (+), y si y si carga eléctrica del glóbulo de asfalto es negativa, se estará en presencia de una emulsión aniónica (-) como se muestra en la figura 1.9 [22].



**Figura 1. 9** Emulsión asfáltica según su carga eléctrica [22].

**En cuanto a la velocidad de rotura, pueden ser [22]:**

➤ **Emulsión de rotura rápida**

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie. Los grados RS-2 HFRS-2y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento.

➤ **Emulsión de rotura media**

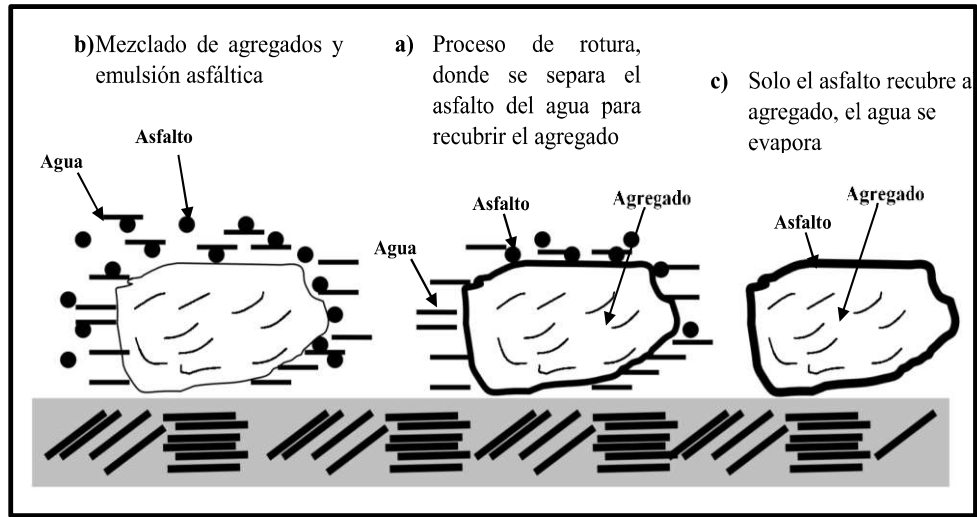
Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper

inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Las mezclas con emulsiones de rotura media pueden mantenerse trabajables por un lapso que va de algunos minutos a varios meses, según su formulación. Ejemplos de emulsiones de rotura media son MS-2, CMS-2 y HFMS-2. En años recientes, han sido utilizados en aplicaciones de reciclado en frío.

#### ➤ **Emulsión de rotura lenta**

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla. Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua. Diluidos, estos grados pueden también ser usados para riegos de liga, riego pulverizado y como paliativos de poleo. La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas y algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas. Ejemplos de emulsiones de rotura lenta son SS-1, SS-1h, CRS-1, CRS-2, CMS-2, CMS-2h, CSS-1 Y CSS-1h.

El proceso de rotura es muy necesario, debido a que se necesita que el material sea recubierto completamente por el asfalto. La rotura de la emulsión se debe a la carga que posee el agregado, el cual neutraliza la carga del asfalto en la emulsión. De esta forma, la pequeña carga que posee la emulsión se irá moviendo hacia el agregado que tiene carga opuesta y comenzará a formarse partículas de asfalto de gran tamaño, el mismo que comenzará a recubrir los agregados, mientras que el agua es eliminada del asfalto-agregado como se muestra en la figura 1.10.



**Figura 1. 10** Emulsión asfáltica según su carga eléctrica [23].

**Nomenclatura para Emulsiones asfáltica [22].**

La nomenclatura usada para identificar un determinado tipo de emulsión asfáltica, ya sean aniónicas o catiónicas, se encuentran detalladas en la tabla 1.1 de acuerdo con las normas AASHTO M208-M140 y ASTM D977-D2397.

**Tabla 1. 1** Nomenclatura para emulsiones asfálticas

Emulsión aniónica	Emulsión catiónica
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	----
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	----
HFMS-2	----
HFMS-2h	----
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h
QS-1h	CQS-1h

**Fuente:** Normas AASHTO M208-M140 y ASTM D977-D2397.

**Donde:**

- La letra C muestra que es una emulsión tipo catiónica y la ausencia de esta letra muestra una emulsión tipo aniónica.
- Los números 1 y 2 indican la viscosidad. Un número 1 indica una viscosidad baja y número 2 una viscosidad alta.
- La letra "h" indica que la base asfáltica es más consistente. Donde se manifiesta en función del clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga un residuo de mayor dureza.
- La letra "s" indicaría que la base es más blanda (soft).
- Las letras HF significa alta flotación.

Para la realización del presente trabajo experimental se utilizará emulsión asfáltica tipo catiónica de curado lento CSS-1h la misma que tendrá una dosificación 70% de emulsión y 30% de agua.

En la Tabla 1.2 se muestra las características técnicas que poseen la emulsión asfáltica catiónica CSS-1H.

**Tabla 1. 2** Emulsión asfáltica catiónica CSS-1H. Emulsión de curado lento [24]

Propiedad	Unidad	Especificación
Densidad Relativa a 25°C	g/cm <sup>3</sup>	0.90 - 1.10
Contenido de Asfalto *	% Peso	57- 64
Penetración en el Residuo	1/10 mm	40 – 90
Peso por Galón	k/gl	3.4 – 4.2
Contenido de Agua	% Peso	36 – 46
pH	.	1.5 – 2.5
Asentamiento en 24 h	%	0- 1
Estabilidad en el Almacenamiento	%	Máx. 5
Prueba del Tamiz N° 20	%	Máx. 0.1
Viscosidad Saybolt-Furol a 23°C	sSF	20 – 100
Mezcla con Cemento	%	Máx. 2.0
Carga de Párculas	--	Positiva

### 1.1.3.2.3 Mezclas asfálticas de pavimentación

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero también puede fabricarse en in situ. Algunas mezclas asfálticas son:

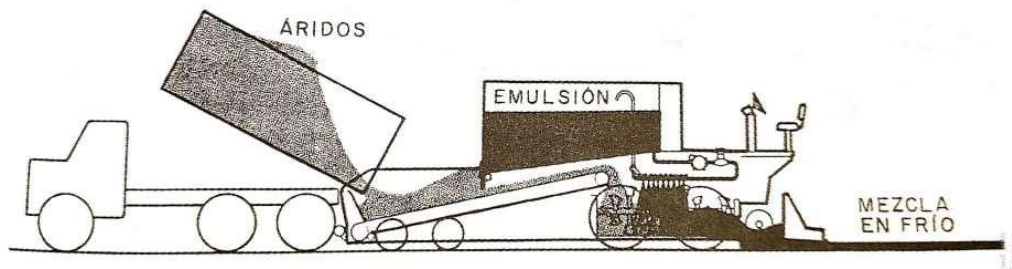
- **Mezcla Asfáltica en Frío [25].**

Son las mezclas constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos, con una emulsión asfáltica (que no es más que asfalto emulsionado en agua antes de ser mezclado con el agregado) y, eventualmente, agua. En este estado de emulsión el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar. La emulsión romperá luego de que suficiente agua se haya evaporado y la mezcla en frío comienza a tener buena resistencia. Estas mezclas se efectúan con asfaltos líquidos y sin recurrir al calentamiento de los agregados. Se utilizan comúnmente como material para bacheo en rutas de bajo tránsito.

Estas mezclas poseen capacidad portante, por esta razón es que se considera su aporte en el paquete estructural. Los agregados gruesos son exclusivamente provenientes de trituración. Los agregados finos, conviene que provengan de la mezcla de arenas de trituración, que ofrecen la trabazón necesaria, y arenas silíceas naturales que le otorgan trabajabilidad a la mezcla.

Son ideales para la pavimentación urbana de arterias que serán sometidas a un bajo volumen de tránsito y en donde ese tránsito será casi exclusivamente de automóviles. Se recomienda su puesta en obra a temperaturas no inferiores a los 20°C ni superiores a los 40°C.

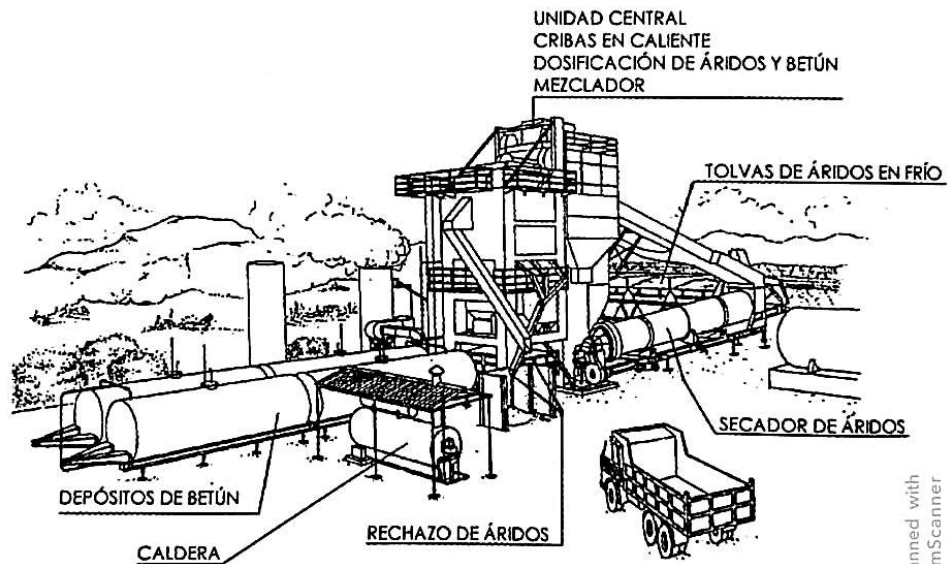
Para la fabricación de las mezclas en frío se han utilizado mezcladores móviles sobre camiones que a la vez extienden el material sobre la carretera como se muestra en la figura 1.11 [26].



**Figura 1. 11** Equipos móviles para la fabricación y extensión de mezclas en frío [26]

- **Mezcla Asfáltica en Caliente.**

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica, y se define como mezcla asfáltica en caliente a la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente [27]. En la figura 1.12 se muestra una central tradicional de fabricación de mezclas en caliente.



**Figura 1. 12** Vista general de una central de fabricación de mezclas asfálticas en caliente [26].

- **Mezclas asfálticas densas en frío**

Las mezclas asfálticas densas en frío son de tipo denso, donde los agregados minerales presentan granulometría con variedades de tamaños (bien gradadas) con algún porcentaje de finos. Esto permite, una vez compactada la mezcla, logra una reducción importante en los espacios de vacíos, con incrementos en su resistencia mecánica y disminución de la permeabilidad. El ligante asfáltico utilizado para la fabricación de la mezcla son las emulsiones tipo CRL-1 o CRL-1h [10].

- **Concreto asfáltico o mezclas asfálticas densas en caliente.**

Las mezclas asfálticas densas en caliente presentan agregados pétreos con granulometría bien gradada y con tamaños de partículas sólidas diferentes (gravas, arenas, finos, llenante mineral), mezcladas con cemento asfáltico. Estas mezclas deben fabricarse, extenderse y compactarse a alta temperatura (fabricarse entre 140 y 180 °C aproximadamente, dependiendo de la viscosidad del asfalto). Se caracterizan por presentar un bajo contenido de vacíos con aire en volumen (entre 3% a 9% por lo general). Son mezclas de alta calidad, las cuales pueden ser utilizadas para conformar cualquier subcapa dentro de la capa asfáltica (rodadura, base intermedia y/o base asfáltica) [10].

- **Mezclas de arena – asfalto.**

Son mezclas de muy delgado espesor dentro de la capa asfáltica (menor a 1 cm). Por lo tanto, no son mezclas utilizadas para ayudar a resistir las cargas impuestas por el tránsito. Por lo general son utilizadas cuando se necesitan sobre carpetas asfálticas en donde la superficie de rodadura presenta envejecimiento, peladuras o irregularidades superficiales que inciden en el grado de serviciabilidad de la vía (mantenimientos viales). Adicionalmente, pueden ser utilizadas para sellar grietas superficiales en la capa asfáltica [10].



#### **1.1.3.2.4 Envejecimiento del cemento asfáltico [15].**

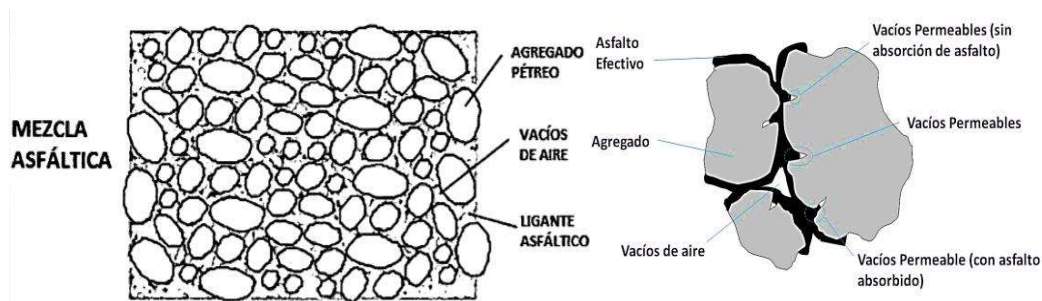
Todos los cementos asfálticos envejecen en mayor o menor grado, el primer envejecimiento que sufre el cemento asfáltico se produce durante el proceso de mezclado con los agregados pétreos. Durante este proceso, el asfalto es expuesto durante un corto tiempo al aire y a la acción de temperaturas altas (alrededor de 135°C), presentándose cambios sustanciales en su comportamiento reológico: disminuye la penetración, aumenta su viscosidad y su punto de ablandamiento por la oxidación causada por el aire y la pérdida de los solventes más volátiles.

El proceso de envejecimiento continúa, aunque a menor velocidad, durante los procesos de almacenamiento en silo, transporte, extendido y compactación de la mezcla asfáltica. Posteriormente, una vez colocada la mezcla asfáltica y abierta al tránsito, el proceso de envejecimiento continúa a una velocidad mucho menor durante los tres primeros años. Después de ello, el envejecimiento seguirá de manera más lenta a través del tiempo de servicio del pavimento, afectando en menor o mayor grado las propiedades reológicas del cemento asfáltico, dependiendo de la cantidad de vacíos, los cuales propician la entrada de aire, agua y luz.

La pérdida de las propiedades ligantes y la rigidización del cemento asfáltico por cambios en su composición química, han sido relacionadas con la aparición de fisuras en las capas de rodadura asfáltica. La viscosidad, la penetración y la ductilidad son las propiedades físicas que más se han correlacionado con este tipo de falla en las mezclas asfálticas.

#### **1.1.3.3 Reciclado de pavimentos flexibles [28].**

Se entiende como reciclado a la reutilización de un material de pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede emplearse para construir un refuerzo en la misma carretera o alguna capa de una calzada nueva. En la figura 1.9 se visualiza los componentes que conforman una mezcla asfáltica.



**Figura 1.13** Componentes de la mezcla asfáltica reciclada [28].

Entre los factores fundamentales que han contribuido al desarrollo de estas técnicas merecen destacarse las siguientes:

- La crisis energética causante de los significativos aumentos en los precios de los productos derivados del petróleo.
- El progresivo agotamiento de las fuentes de obtención de los agregados pétreos de adecuada calidad y el incremento de sus precios en canteras, los costos del transporte cuando los agregados pétreos de calidad se encuentran a considerable distancia de las obras.
- Los aspectos ecológicos y la necesidad de conservar el medio ambiente son factores que les otorgan actualmente la debida atención en los países más desarrollados, razones por las cuales es notoria la tendencia hacia la reutilización de los materiales.

#### 1.1.3.3.1 Tipos de reciclajes

Existen tres tipos de reciclaje, cuyas denominaciones y características son las siguientes:

##### a) Reciclado superficial

Consiste en el retratamiento de la superficie del pavimento en bajos espesores, generalmente no superiores a los 2.5 centímetros. Se incluye todo procedimiento en que la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada o no de un agente de reciclaje, con o sin la incorporación de pequeños porcentajes de

materiales vírgenes, reacondicionada y recompactada. El proceso puede ser en caliente o en frío y en este último caso el agente de reciclaje, si se requiere, se aplica en forma de emulsión [28].

**b) Reciclaje en el lugar (in-situ)**

Conocido también como reciclaje en frío, consiste en rehabilitar el pavimento asfáltico hasta una profundidad mayor de 2.5 cm, involucrando o no el material de la capa de base. Para ello, el espesor es escarificado y el material trozado resultante es triturado hasta un tamaño adecuado y luego, mezclado con un agente de reciclaje y eventualmente con cierto porcentaje de agregado nuevo, todo como para cumplir con las exigencias de la nueva mezcla.

Como su nombre lo indica, el proceso se realiza generalmente en frío y los aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes. También es posible el reciclaje in-situ con cementos asfálticos de alto grado de penetración [28].

**c) Reciclaje en planta (caliente)**

Denominado también reciclaje en caliente consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material trozado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por medio del fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado. Para ello, se agregan materiales nuevos que comúnmente incluyen un agente de reciclaje y agregado pétreo virgen, así como asfalto nuevo.

La nueva mezcla en caliente se lleva al sitio de origen o al que se haya elegido para su colocación, donde se distribuye y compacta mediante métodos y equipos convencionales [28].

### 1.1.3.3.2 Asfalto reciclado

El reciclado de pavimentos considera reutilizar tanto el material que compone la carpeta asfáltica (RAP), las capas de base y subbase que conforman la estructura del pavimento.

El RAP puede ser obtenido a través del fresado directo del pavimento o a través de los medios de demolición tradicional y luego transportado y procesado en trituradoras secundarias o terciarias y está básicamente constituido por agregado y asfalto. En general, se considera que las propiedades mineralógicas del agregado se conservan en el tiempo, pero sus propiedades físicas pueden variar según la técnica que se utilice para recuperar el RAP y su método de selección.

Respecto del asfalto, se asume que gran parte de las propiedades reológicas del asfalto residual se han perdido por efecto del envejecimiento y absorción de máltenos por el agregado. Dependiendo de la técnica de reciclado que se utilice, el porcentaje de material RAP que se incorpora en una nueva mezcla podría llegar al 100% [2].

Los agregados pétreos que resulten del proceso de fresado y posterior pulverización del material extraído deben cumplir la granulometría presentada en la tabla 1.3 [13].

**Tabla 1. 3** Granulometría de agregados reciclados [13].

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
37.5 mm	1 1/2"	100
25 mm	1"	75-100
19 mm	3/4"	65-100
9.5 mm	3/8"	45-75
4.75 mm	No. 4	30-60
2.00 mm	No. 10	20-45
425 $\mu$ m	No. 40	10-30
75 $\mu$ m	No. 200	5-20

#### 1.1.3.4 Ensayo de extracción de asfalto en la mezcla

El modo operativo está basado en las normas ASTM D 2172 Y AASHTO T 164. El ensayo consiste en determinar el porcentaje de material bituminoso contenido en una mezcla asfáltica en caliente, empleando un extractor centrífugo y utilizando como solvente gasolina. Los agregados obtenidos mediante este método se pueden utilizar para el ensayo de granulometría [29].

Se determina el porcentaje de asfalto en base a la siguiente formula:

$$B(\%) = \frac{(W1-W2)-(W4-W3)-W5}{W1} * 100 \quad (Ec. 1)$$

**Donde:**

B= % de Asfalto con respecto al agregado seco.

W1= Peso inicial de la mezcla

W2= Peso de la muestra luego de la prueba

W3= Peso inicial del filtro

W4= Peso del filtro luego de la prueba

W5= Residuos en (centímetros cúbicos) de solvente

Para el cálculo de los residuos en (centímetros cúbicos) de solvente de la extracción en base a la siguiente formula:

$$W5 = C \frac{v1}{v2} \quad (Ec. 2)$$

**Donde:**

W5= Residuos en (centímetros cúbicos) de solvente

C= Cenizas(filler) en g.

V1= Volumen total de solvente en ml.

V2= Volumen de la alícuota en ml

Para el cálculo de la Cenizas(filler) en g. de la extracción en base a la siguiente formula:

$$C = R2 - R1 \quad (Ec. 3)$$

**Donde:**

C= Cenizas(filler) en g.

R1= Peso del recipiente

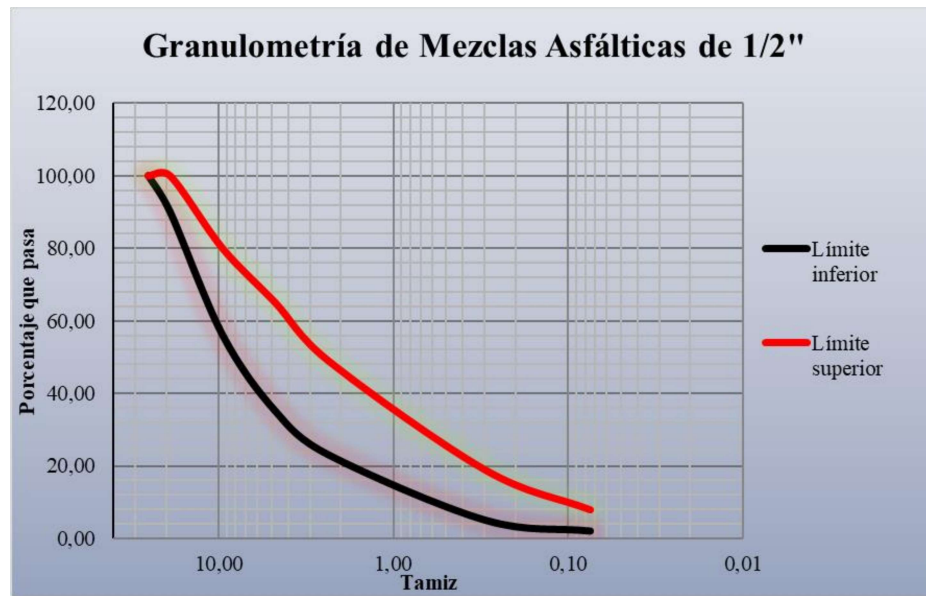
R2= Peso del recipiente + filler

**1.1.3.5 Ensayo granulométrico**

El modo operativo está basado bajo la norma AASHTO T-11. EL método de ensayo determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados finos y gruesos con el fin de controlar si los agregados a utilizar se encuentran dentro de los límites permitidos. Las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones, de tal forma que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue correlativamente [22]. El ensayo se realiza por medio de tamices de abertura circulares progresivamente decreciente.

**Tabla 1. 4** Límites máximos y mínimos de la granulometría de Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta.[13]

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
1/2" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10



**Figura 1. 14** Límites mínimos y máximos de la curva granulométrica 1/2"

**Fuente:** Autor

Para el cálculo de la graduación granulométrica se utilizará las siguientes fórmulas:

$$\%Ret = \frac{PNR}{pne} * 100 \quad (Ec. 4)$$

$$\%Ret = \%Ret_{n+1} * 100 \quad (Ec. 5)$$

$$\%PASA = 100 - \%Ret.ac \quad (Ec. 6)$$

**Donde:**

Pne = peso neto de material

PNR = peso neto retenido individual en cada tamiz

% Ret. = porcentaje de peso retenido

% Ret. ac. = porcentaje de peso retenido acumulado

% PASA = porcentaje de material pasante en cada tamiz

### 1.1.3.6 Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Fue desarrollado por Bruce Marshall bajo la estipulación de las normas AASHTO T-245, ASTM D -6927. Consiste una vez fijada la granulometría de los áridos, en la preparación de probetas normalizadas, cada una de ellas con distinto contenido de betún. Estas

probetas son compactadas, también según un procedimiento normalizado y sometidas a rotura por tracción indirecta. Este método de ensayo determina la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall [14].

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son los que se han citado: la densidad, la estabilidad, la deformación, la proporción de huecos en la mezcla y la proporción de huecos en los agregados. Su variación con el contenido de ligante se presenta en unas graficas como se muestra en el ejemplo de la figura 1.13 [26].

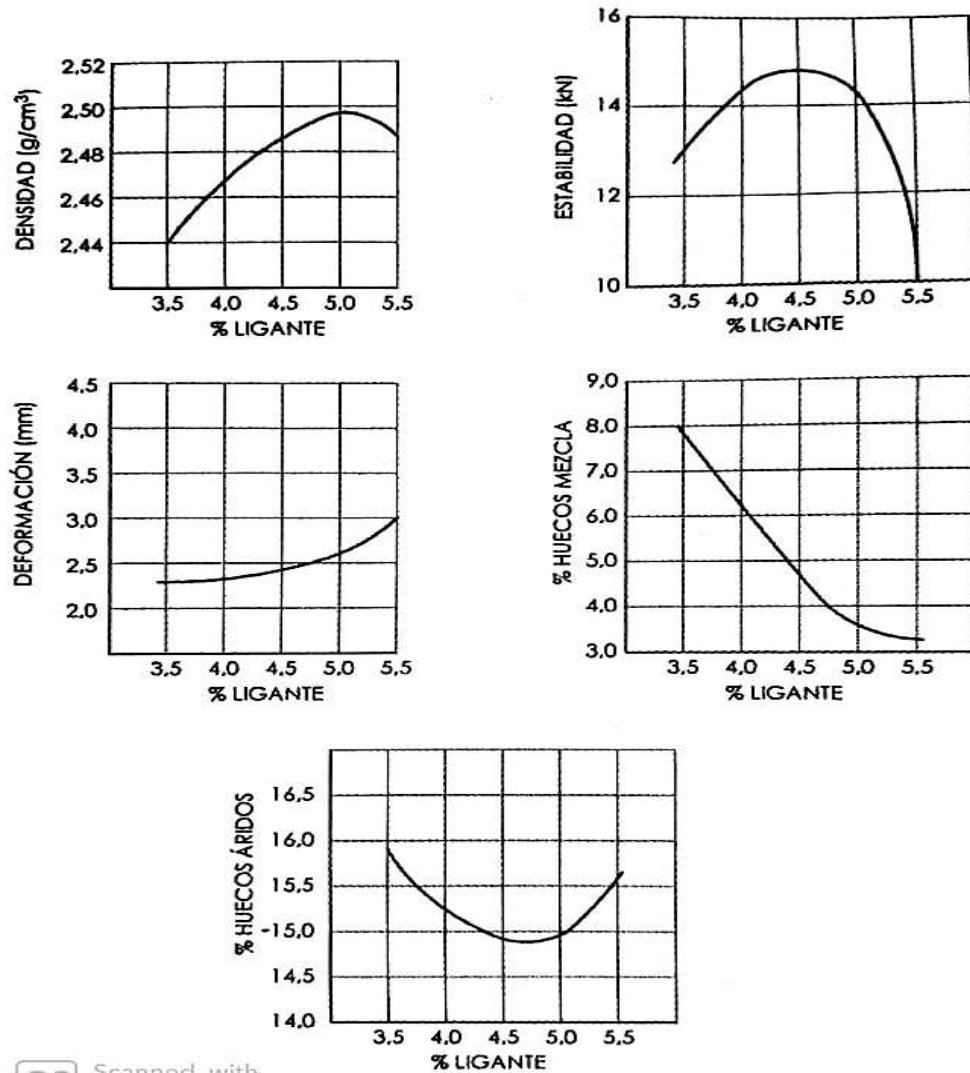


Figura 1. 15 Ejemplo de gráficos Marshall [26]



Para el cálculo del valor de la estabilidad Marshall y el valor de fluencia de cada una de las probetas se obtendrá a partir de las lecturas del dial de carga, el cual es introducido en la ecuación de estabilidad que se muestra a continuación.

$$\text{estabilidad} = \text{ldc} * \text{fvol} \quad (\text{Ec. 7})$$

**Donde:**

Ldc = lectura del dial de carga

Fvol = factor de corrección por volumen de la probeta

### **1.1.3.7 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados gruesos.**

El modo operativo está basado bajo la norma AASHTO T 85-74, ASTM C127-12. La gravedad específica es la relación del peso de un volumen de agregado dado, al peso de un volumen igual de agua. El agua, a una temperatura de 23 ° C tiene una gravedad específica de 1. La gravedad específica es importante por varias razones. Algunas partículas nocivas son más ligeras que los agregados buenos. El seguimiento de la gravedad específica a veces puede indicar un cambio de material o una posible contaminación. Las diferencias en la gravedad específica se pueden usar durante la producción para separar las partículas nocivas.

El valor se usa para calcular vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA).

Para el cálculo de la densidad relativa de los agregados gruesos se utilizará las siguientes fórmulas:

- **Densidad relativa:** Densidad relativa del árido en condición seco al horno (bulk). La densidad relativa es adimensional, aplicar la siguiente ecuación.

$$\text{D. Relat. (sh)} = \frac{A}{B-C} \quad (\text{Ec. 8})$$

- **Densidad relativa saturada superficie seca:** densidad relativa del árido en condición superficie saturada seca, aplicar la siguiente ecuación.

$$\text{D. Relat. (sss)} = \frac{B}{B-C} \quad (\text{Ec. 9})$$

- **Densidad relativa real:** densidad relativa real del árido, aplicar la siguiente ecuación.

$$D. \text{ Relat. real: } \frac{A}{A-C} \quad (\text{Ec. 10})$$

- **Absorción:** se determina en porcentaje, aplicar la siguiente ecuación.

$$\text{Absorción: } \frac{B-A}{A} \quad (\text{Ec. 11})$$

**Donde:**

A= masa en aire de la muestra seca en horno, g.

B= masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.

C= masa sumergida en agua de la muestra saturada, g

D. Relat. = densidad relativa, g

**1.1.3.8 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados finos.**

El modo operativo está basado bajo la norma AASHTO T 84-74, ASTM C128-12. Este método determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad (kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>)) es expresada como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS), o como densidad aparente (gravedad específica aparente). De cualquier manera, la densidad relativa (gravedad específica), es una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH son determinadas después de secar el agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción son determinadas después de sumergir el agregado en agua durante un período de tiempo preestablecido

Para el cálculo de la densidad relativa de los agregados fino se utilizará las siguientes fórmulas:

- **Densidad relativa:** Densidad relativa del árido en condición seco al horno (bulk)

$$D. \text{Relat. (sh)} = \frac{A}{B+D-C} \quad (\text{Ec. 12})$$

- **Densidad relativa saturada superficie seca:** densidad relativa del árido en condición saturada superficie seca, aplicar la siguiente formula:

$$D. \text{Relat. (SSS)} = \frac{D}{B+D-C} \quad (\text{Ec. 13})$$

- **Densidad relativa real:** densidad relativa real del árido, aplicar la siguiente formula:

$$D. \text{Relat. real} = \frac{A}{B+A-C} \quad (\text{Ec. 14})$$

- **Absorción:** se determina en porcentaje, aplicar la siguiente formula:

$$\text{Absorción} = \frac{D-A}{A} \quad (\text{Ec. 15})$$

**Donde:**

A= masa en aire de la muestra seca en horno, g.

B= masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.

C= masa sumergida en agua de la muestra saturada, g

D= masa de la muestra estado SSS, 500 g

D. Relat. = densidad relativa, g

### 1.1.3.9 Método Rice

El modo operativo está basado bajo la norma AASHTO T 209, ASTM D 2041. Este método de ensayo determina la gravedad específica teórica y densidad de mezclas asfálticas, en su estado sueltos eliminando la presencia de vacíos posibles.

El peso específico es la relación del peso de un volumen dado de material a una temperatura 25 grados Celsius con respecto de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

Para el cálculo de la gravedad específica máxima Rice se obtiene a través de la siguiente formula:

$$Gmm = \frac{Pma}{Pma+Pfa+Pfma} \quad (Ec. 16)$$

**Donde**

Gmm=Gravedad específica máxima de la mezcla

Pma=Peso neto de la muestra al aire

Pfa=Peso del frasco más agua

Pfma=Peso del picnómetro, agua y muestra

**1.1.3.10 Diseño de pavimentos**

Los tipos de pavimento empleados tradicionalmente han sido el asfáltico (o flexible) y el de concreto (o rígido). El primero, tiene un costo inicial relativamente bajo, requiere un apropiado y costoso mantenimiento anual, y el segundo requiere una inversión inicial alta, pero su larga vida útil prácticamente exenta de mantenimiento representa un costo anual muy bajo.

Por lo expuesto anteriormente resulta evidente por qué las soluciones convencionales son con frecuencia antieconómicas para cierta clase de obras en nuestro medio: zonas de parqueaderos, calles de pueblos, vías de barrios residenciales, parqueaderos, en los cuales normalmente no se disponen de los medios para construir o sostener debidamente un pavimento tradicional. El adoquín ofrece entonces solución interesante al problema, ya que, por ser un elemento fabricado, su calidad puede ser controlada en la misma planta de donde procede; su colocación no requiere de ningún equipo especial y su conservación es muy económica [12].

**Casos especiales**

En la práctica se presentan algunos casos especiales, tal es el caso de tipos de cargas diferentes cuyos efectos se deben tener en cuenta; en particular cuando existe tráfico canalizado, es decir, si todos los vehículos tienen que circular siguiendo el mismo patrón. También en el caso de pavimentos con cargas dinámicas altas como ocurre en los paraderos de buses.

El método sugiere para ambos casos, sin tomar en cuenta el número de ejes que se vayan a tener en realidad, se diseñe el pavimento para soportar un mínimo de 2 x 10<sup>6</sup> ejes equivalentes de 8.2 toneladas [12].

- **Evaluación de la subrasante.**

### **Subrasante mejorada**

Esta capa por lo general subyace a la capa de subbase. Esta capa tiene como función sustituir parte de la subrasante cuando esta última presenta baja rigidez y resistencia bajo carga cíclica, o cuando se prevea en ella el desarrollo de cambios volumétricos importantes en presencia o ausencia de agua. Por lo general esta capa puede construirse con materiales de conformación de relleno (terraplén) o con escombros (materiales reciclados obtenidos de la demolición de obras) [13].

### **Subrasante**

La capa sobre la cual se soporta o cimenta la estructura del pavimento (terreno natural de cimentación o de explanación en una vía). Debe soportar en última instancia las cargas producidas por el tránsito, presentar un comportamiento apropiado ante la acción del medio ambiente y suministrar apoyo uniforme a la estructura del pavimento. De la calidad de esta capa depende, en parte, el espesor que tendrá el pavimento.

La subrasante en un pavimento debe satisfacer tres funciones principalmente: proveer una apropiada cimentación para compactar las capas de la estructura, soportar un limitado número de vehículos durante la construcción, y proveer un adecuado soporte a las cargas impuestas por el tránsito durante su vida útil.

En un diseño de pavimento es importante considerar su potencial expansivo y su capacidad portante (resistencia al corte y/o rigidez bajo carga cíclica). Para dimensionar el pavimento, los diseñadores caracterizan la subrasante ya sea a través de la relación de soporte de California (CBR), del módulo de reacción de la subrasante (K) o del módulo resiliente (M). Dependiendo del tipo de estructura que se diseñe o del método empleado, el diseñador deberá utilizar alguno de los parámetros mecánicos mencionados [13].

## Relación de soporte de California (CBR)

Índice de California, Capacidad portante de California (California Bearing Rates). Mide la resistencia de un suelo al esfuerzo cortante bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se expresa en porcentaje (%) y se utiliza, auxiliándose con curvas empíricas [21]. Los suelos se pueden clasificar de manera subjetiva de acuerdo con el CBR tal como se indica en la tabla 1.5 [13].

**Tabla 1. 5** Clasificación de suelos de acuerdo con el CBR [13].

CBR [%]	Clasificación general	Usos
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Afirmados y subbase
20 – 50	Bueno	Subbase y base
> 50	Excelente	Base

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 fino-granulares, el valor de CBR se puede determinar con base en el índice Plástico, tal como se indica en la Tabla 3.19 [12].

**Tabla 1. 6** Valores de CBR saturados y en equilibrio, en función del límite plástico[12].

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	2,5
	60	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5
	50	1,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5
	40	2,0	2,5	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5
Arcilla limosa	30	2,5	3,5	3,0	4,0	3,5	5,0	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	6,0
	20	2,5	4,0	4,0	5,0	4,5	7,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0
Arcilla arenosa	10	1,5	3,5	3,0	6,0	3,5	7,0	2,5	4,0	4,5	7,0	6,0	<8,0

**Tabla 1. 6 (Continuación)** Valores de CBR saturados y en equilibrio, en función del límite plástico[12].

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 Nota: Un pavimento grueso (G) es aquel de más de 600 mm de espesor y uno delgado de menos de 300 mm. Los tipos o condiciones de construcción (pobre, promedia y buena) se determinan de acuerdo con el sistema de drenaje colocado durante la construcción).													

En el diseño del pavimento se debe tomar en cuenta el drenaje de la subrasante, comúnmente por medio de "Drenes Franceses" permitiendo que llegue al sistema de alcantarillado para su descarga, con una inclinación adecuada.

En áreas donde el valor de CBR varía, es necesario utilizar el valor menor que se haya obtenido, o si el diseño es para diferentes zonas, se debe utilizar el mínimo valor registrado en cada una de ellas. 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 igual en toda el área del pavimento, se llegue a las cotas de diseño conservando dicho perfil [12].

- **Selección del espesor del pavimento [12].**

**Periodo de diseño**

Para el diseño de espesores se debe tomar en cuenta el tráfico acumulado que deberá 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 (N)".

La Tabla 3.18 muestra la relación entre los 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.

**Tabla 1. 7** Relación entre (vc/d) y (N) [12].

<b>Relación entre el “número de vehículos comerciales por día (vc/d)” y el número de ejes equivalentes de 8.2 t (N) para períodos de diseño de 20 y 40 años y ratas de crecimiento del tráfico del 0 y 2%.</b>				
<b>vc/d</b>	<b>Tráfico acumulado</b>			
<b>Período de diseño (años)</b>	<b>20</b>		<b>40</b>	
<b>Crecimiento (%)</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
30	0.22	0.27	0.40	0.60
120	0.86	1.00	1.70	2.60
250	1.80	2.20	3.60	5.50
500	3.60	4.40	7.30	11.00
1000	7.20	9.60	14.70	24.30

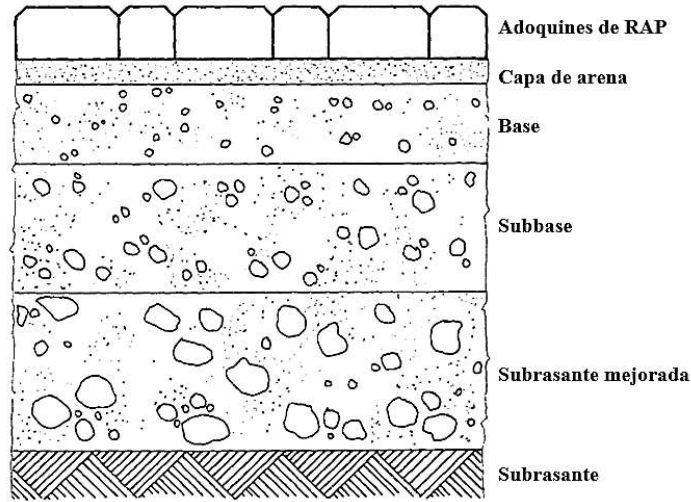
**Nota:** Esta Tabla se puede aplicar a pavimentos corrientes en los cuales el tráfico de vehículos comerciales es menor que el 50% del total.

Si se tienen construcciones que no se puedan clasificar en cualquiera de estas tres tipologías, se debe asumir que la vía se utilizará a un gran proyecto y circularán por ella 5.000 ejes estándar; pero siempre se aplicará el criterio profesional para evaluar el tráfico al cual estará sometida la vía.

Durante períodos lluviosos se debe terminar de construir el pavimento, tan rápido como sea posible, para proteger sus capas inferiores. De todas maneras, se requiere efectuar trabajos adicionales en la superficie de la subbase, que haya sido usada como vía de acceso a la construcción, antes de colocarse las capas superiores.



## Elementos del pavimento



**Figura 1. 16** Estructura típica de un pavimento de adoquines [12].

En la figura 3.1 se muestran los elementos de la estructura del pavimento de adoquines, pero no todos los elementos están presentes siempre.

El diseño se debe llevar a cabo de acuerdo con el diagrama de flujo que aparece en la Figura 3.2. 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 [12].

### ✓ **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 está entre 2 y 4% tendrá un espesor de 350 mm y si es del 8% o más se omitirá esta capa del pavimento [12].

### ✓ **Subbase**

Si la subbase 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 el caso de que se utilice como vía de acceso a la construcción y se haya colocado una subrasante mejorada, se incrementará el espesor de la subbase de acuerdo con la magnitud del tráfico que circulará directamente sobre ella (como se muestra en la Figura 1.17, según el número de viviendas o el número equivalente de m<sup>2</sup> de propiedad industrial o comercial que se vayan a construir [12]).

✓ **Base**

Como se muestra en la figura 3.2, Cuando se tenga un tráfico de menos de 30 vc/d o 1,5 x 10<sup>6</sup> ejes equivalentes de 8,2 toneladas y el pavimento no corresponda a una de las categorías especiales que se enuncian en el inciso 6,2 no se necesitará colocar una capa de base (tan solo la subrasante mejorada y la subbase) [12].

✓ **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 subbase [12].

✓ **Adoquines de concreto**

Por lo general tendrán un espesor de 6 u 8 cm. En áreas con tráfico muy pesado, particularmente en aquellas con tráfico canalizado o cargas dinámicas, se deberá considerar eventualmente la utilización de adoquines de 10 cm de espesor [12].

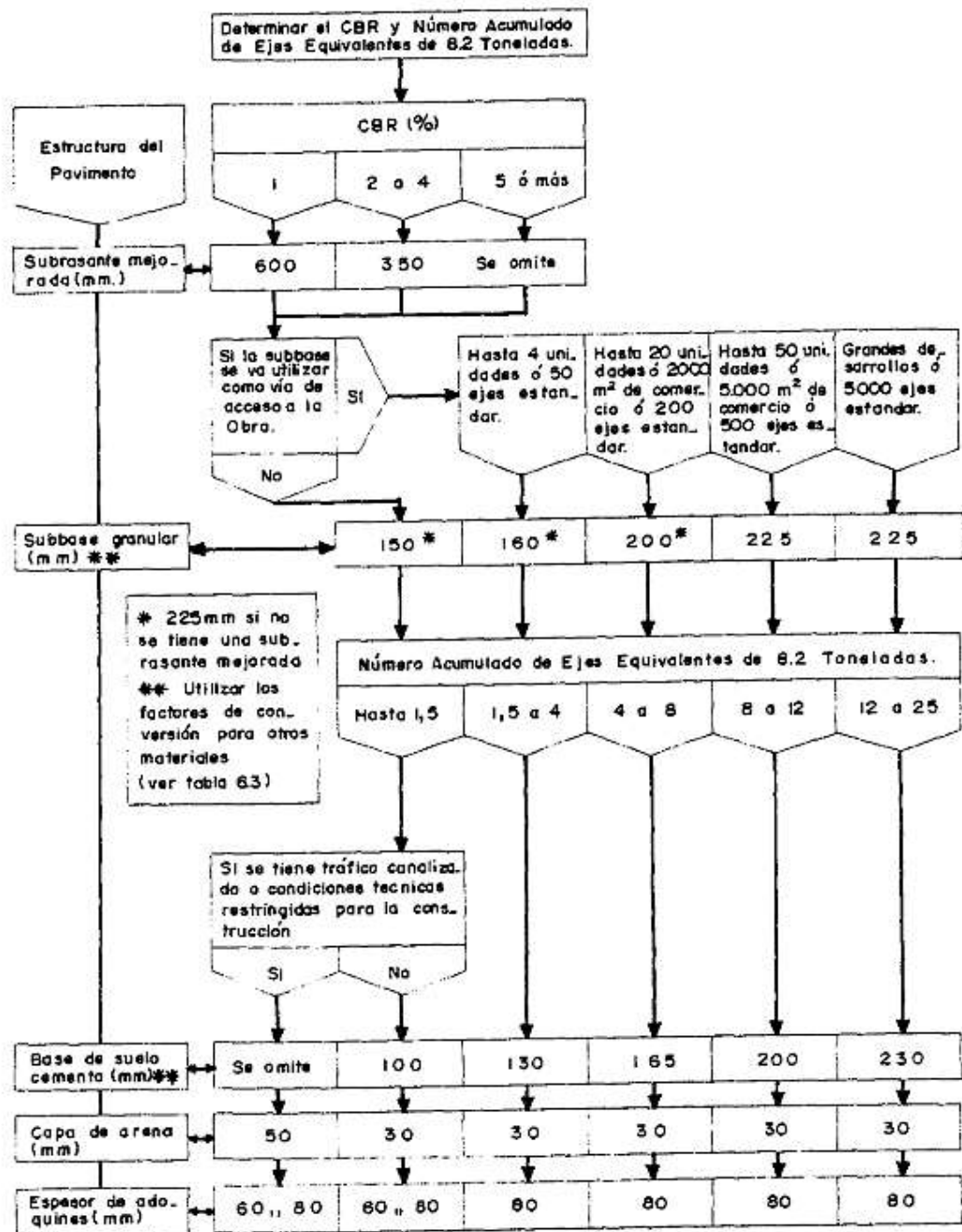


Figura 1. 17 Procedimiento de diseño de un pavimento para vías [12].

### 1.1.3.9 Tránsito para diseño de pavimentos

La variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de

los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento [13].

➤ **Clasificación de los vehículos**

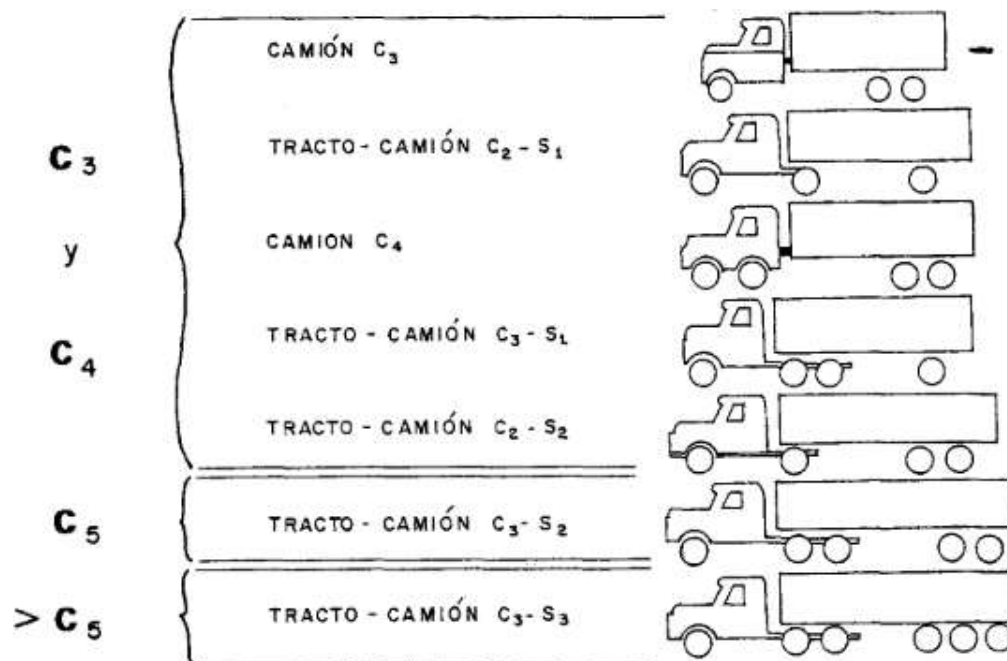
El INV (Instituto Nacional de Vías) ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan en el país [13]:

- A= Vehículos liviano
- B= Buses
- C= Camiones

También se ha clasificado el tipo de vehículo de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en la Figura 1.18 [13].



**Figura 1. 18** Tipos de vehículos [13].



**Figura 1.18** Tipos de vehículos (Continuación)

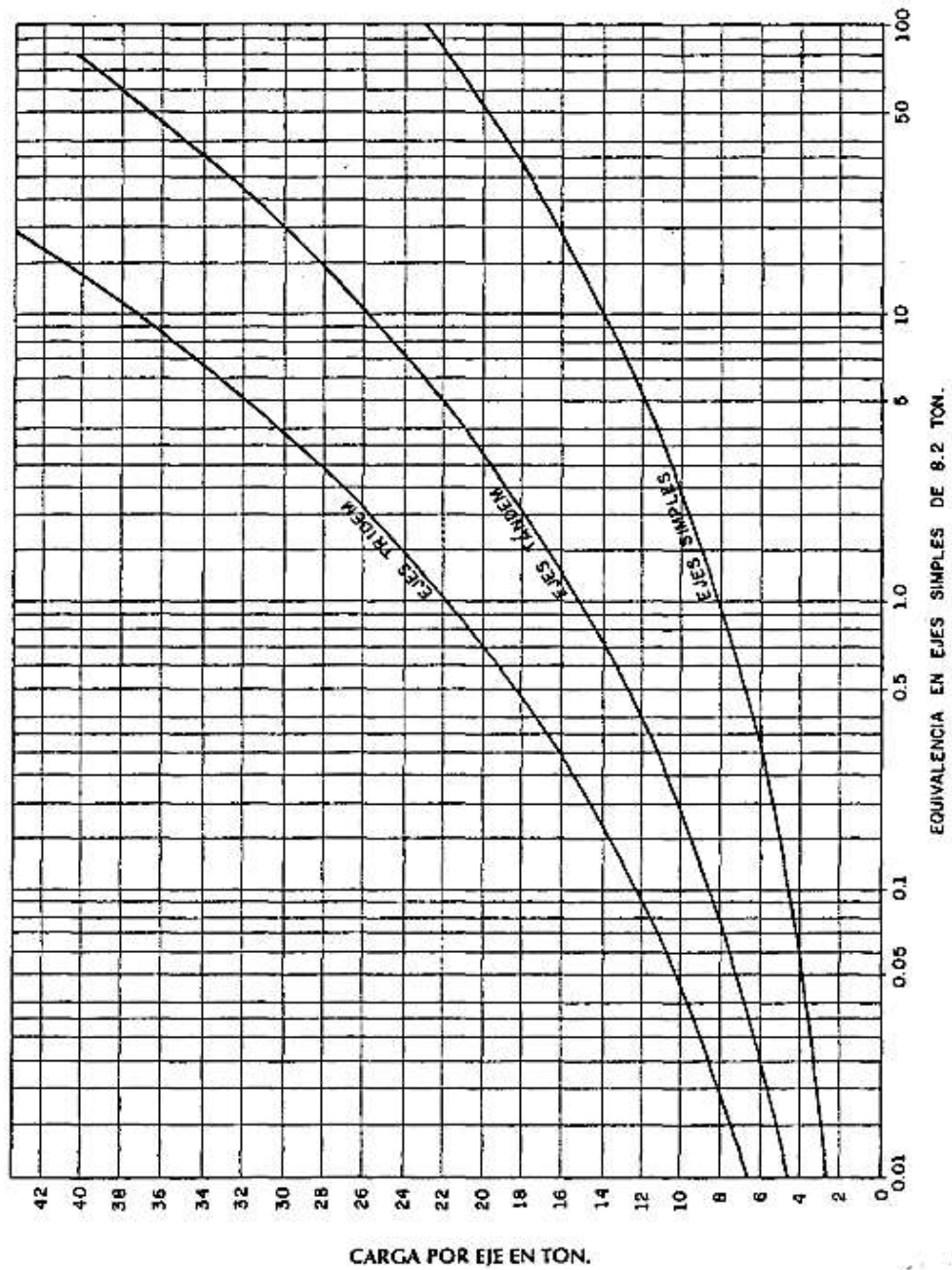
➤ **Clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes**

**Carga máxima legal**

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de carga, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura [12].

Dado que la estimación de daño producido por las diversas cargas por eje es muy compleja, y que la única fuente confiable de información para afrontar este problema es el "AASHO ROAD TEST", de cuyos resultados se derivaron una serie de factores de equivalencia, de los cuales la Figura 2.2 muestra los adoptados por el INV, la carga tomada como patrón es un eje sencillo de 8.2 toneladas, cuya elección se hizo por dos motivos principales [12].

1. Porque el valor de esta carga era similar a la de 8.0 toneladas propuesta en la convención de Génova en 1949 [12].
2. Porque dicha carga por eje fue normalizada como carga para diseño de pavimentos flexibles, por muchos países y entidades [12].



**Figura 2.2** Factor de equivalencia de carga para pavimento

### ➤ **Determinación del tráfico existente [12]**

La información necesaria para cuantificar el tránsito existente de una vía se debe recolectar con base en los procedimientos de la Ingeniería de Tránsito. La información que se requiere es la siguiente:

- a) El tránsito promedio diario semanal (TPDS)
- b) Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

El TPD se halla efectuando un conteo, durante una semana, de todos los vehículos que pasan por la carretera de estudio. Teniendo en cuenta que el tránsito en general presenta variaciones mensuales y estacionales, es necesario hacer una cuidadosa elección de la semana de aforo.

El tránsito total registrado se divide por los siete días del conteo obteniéndose el TPDS, el cual debe discriminarse en vehículos livianos y comerciales. Estos últimos son los que realmente se tienen en cuenta para el diseño de un pavimento.

La determinación del número, tipo y peso de los vehículos comerciales se hace en nuestro medio por medida directa, utilizando básculas para el pesaje de los ejes de todos los vehículos clasificados como comerciales, registrando en cada caso la clase de vehículo y el tipo de eje pesado.

En la determinación del tránsito existente probable de una vía nueva, es evidente que no puede cuantificarse por medio de conteos directos, razón por la que es necesario recurrir a alguno de los siguientes procedimientos:

- Realizar un estudio de origen y destino entre los dos sitios que serán unidos por la nueva vía.
- Adoptar los datos de tránsito de otra vía situada en una zona de características similares.
- Utilizar los datos de tránsito de otra vía alterna a la que se desea construir.

Uno de los parámetros principales para el diseño de pavimentos es el tráfico vehicular, ya que nos dará el número de vehículos y con ellos, las cargas que soportará la carretera [30].

El volumen de transita puede ser calculado razonablemente teniendo datos del tráfico actual y anterior, además de conocer los desarrollos contemplados en un futuro cercano que puedan afectar el flujo de tránsito [30].

Los principales componentes para el cálculo de tráfico futuro serán [30]:

- **Tráfico Actual:** Es el tráfico que utilizará la vía una vez que esta esté disponible al uso del tráfico.
- **Tráfico Vegetativo o Normal:** Este tráfico va de acuerdo con el desarrollo automotriz traducido en el aumento vehicular en una vía.
- **Tráfico Generado:** Este tráfico se presenta inmediatamente después que se descubre las condiciones favorables que ofrece un camino nuevo o mejorado; atribuyéndole la facilidad de acceso, conveniencia, atracción en algunos casos ahorro de tiempo de viaje. En el presente proyecto se asume el valor de 15 %.
- **Tráfico Atraído o desarrollado:** Es el resultado de la construcción de una carretera o el mejoramiento de una vía que atrae a otros vehículos ante las condiciones presentadas, en este proyecto utilizamos un valor de 3 %.
- **Tráfico Inducido:** Este tráfico es atribuido a la atracción de la nueva vía o de las mejoras. Es el uso de la vía por la novedad y no por la necesidad, el dato correspondiente al factor de tráfico inducido para este proyecto es de 5 % anual.



## **Configuración de Ejes [30]:**

### **Definiciones:**

**Eje:** es el conjunto de dos o más ruedas que transmiten el peso al camino.

**Eje delantero:** Eje que se encuentra en la parte delantera del vehículo.

**Eje central:** Eje que se encuentra en la parte central del vehículo.

**Eje posterior:** Eje que se encuentra en la parte posterior del vehículo.

**Eje retráctil:** Conjunto de dos o más ruedas que está provisto de un dispositivo mecánico, hidráulico o neumático que sirve para modificar el peso transmitido a la superficie de la vía pública y que puede elevar sus neumáticos para que ellos no toquen esta superficie.

### **Peso admisible por neumático:**

A los neumáticos con un ancho menor a 150 mm se les establece un peso máximo admisible de 9 Kg por cada milímetro de ancho, a los neumáticos con un ancho superior un peso máximo admisible de 11 Kg por cada milímetro de ancho.

#### ✓ **Eje Simple**

Se denomina eje simple al elemento constituido por un solo eje no articulado a otro, puede ser: motriz, direccional, anterior, central o posterior.

Peso máximo admisible para un eje simple de 2 neumáticos es de 7000 Kg (15 Kips), y para el peso máximo admisible para un eje simple de 4 neumáticos es de 11000 Kg (24 Kips).

#### ✓ **Eje Tándem**

Se denomina eje Tándem al elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por una distancia menor a 2,4 metros. Estos reparten la carga, en partes iguales, sobre los dos ejes. Los ejes de este tipo pueden ser motrices, portantes o combinados.

Peso máximo admisible para un eje tándem de 4 neumáticos es de 10000 Kg (22 Kips), para el peso máximo admisible para un eje tandem de 6 neumáticos es de 14000 Kg (31 Kips), y para el peso máximo admisible para un eje tandem de 8 neumáticos es de 18000 Kg (40 Kips).

✓ **EJE TRIDEM:**

Se denomina eje Tridem al elemento constituido por tres ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por distancias menores a 2,4 metros. Estos reparten la carga sobre los tres ejes. Los ejes de este tipo pueden ser motrices, portantes o combinados.

Peso máximo admisible para un eje tridem de 6 neumáticos es de 17000 Kg (37 Kips), para el peso máximo admisible para un eje tridem de 10 neumáticos es de 21000 Kg (46 Kips), y para el peso máximo admisible para un eje tridem de 12 neumáticos es de 25000 Kg (55 Kips).

**Tabla 1. 8** Pesos máximos admisibles por ejes

CONJUNTO DE EJE(S)	NOMENCLATURA	SIMBOLOGÍA	NÚMERO NEUMÁTICOS	GRÁFICA	PESO MÁXIMO POR EJE(S) (tn)
Simple	1R2		2		7
Simple	1RD		4		11
Simple	1RS+1RD		4		16
Doble	2RS		4		12
Doble	2RD		6		18
Doble	3RS		8		16
Triple	1RS+2RD		6		25
Triple	3RD		10		25
Doble Separados			12		11+11

### **1.1.4 Hipótesis**

Los adoquines con mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados tendrán una estabilidad alta con respecto a los realizados con agregados no reciclados y su costo será óptimo con respecto a un adoquín convencional

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Diseñar adoquines con mezclas asfáltico en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

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

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

- **Tipo de Investigación**

### **Investigación de campo**

El pavimento asfáltico reciclado que se obtuvo mediante un proceso de fresado corresponde a la calle Julio Enrique Paredes del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua y los materiales no reciclados (arena y grava) se obtuvo de las canteras de la constructora Alvarado.

### **Investigación experimental**

Los adoquines se elaboraron de una forma convencional, utilizando agregados reciclados y no reciclados en las cuales se pretende la incorporación de diferentes porcentajes de emulsión asfáltica y con ello obtener una mezcla asfáltica en frío. La finalidad de la elaboración de estos adoquines es obtener la resistencia a la compresión de cada uno, ya sea de agregados reciclados y los de no reciclados.

### **Investigación de laboratorio**

Los ensayos que se debe realizar a las mezclas asfálticas en frío se los efectuará en los laboratorios del GAD Municipal de Ambato, lugar donde se realizará distintos ensayos tales como: el ensayo Marshall, Rice y el ensayo del centrifugado.

Para el diseño de los adoquines con mezclas asfálticas en frío y sus respectivos ensayos se los efectuará en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil.

### **Investigación analítica**

Mediante esta investigación se procederá al análisis de la información obtenida de los ensayos realizados en base a cada uno de los objetivos de estudio, con la finalidad de determinar el diseño adecuado para la elaboración de los adoquines y así llevar a cabo este proyecto.

- **Población**



**Figura 2. 1** Localización de la extracción del material RAP




La población se hace referencia al lugar en donde se obtuvo los agregados reciclados correspondientes a la vía Dr. Julio Enrique Paredes del Cantón Ambato, provincia Tungurahua.



- **Muestra**


- Para determinar el porcentaje óptimo en las mezclas asfálticas en frío elaborados con agregados reciclados y agregados no reciclados se realiza un cierto número de probetas aumentando diferentes porcentajes de emulsión asfáltica hasta obtener los porcentajes óptimos requeridos para la elaboración de los adoquines.
- Para determinar la resistencia a la compresión se elaborará 45 muestras de adoquín, 30 adoquines se elaborarán con los porcentajes óptimos ya sea con agregados reciclados y no reciclados y 15 adoquines elaborados con hormigón simple. Se elaborarán adoquines con distintos espesores tales como: 6 cm, 7cm y 8 cm.

## 2.1 Materiales y Equipos




**Tabla 2. 1** Equipos, herramientas y materiales utilizado para la realización de los ensayos.




<b>ENSAYO DE EXTRACCIÓN (ASTM D 2172 Y AASHTO T 164)</b>	
<b>Materiales y equipos</b>	<b>Descripción</b>
<p>Maquina centrifuga</p> 	<p>El Extractor Centrífugo de Asfalto, consiste en un bol y un aparato dentro del cual pueda girar el bol a una velocidad variable y controlada hasta 3600 rpm. Se utiliza para determinar la cantidad de asfalto en mezclas bituminosas de pavimento mediante la extracción de bitumen, utilizando solventes específicos.</p>
<p>Horno</p> 	<p>Horno capaz de mantener una temperatura de <math>110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}</math>, se utilizará para calentar el pavimento asfáltico reciclado y así disgregar cada partícula grande en partículas pequeñas</p>
<p>Balanza</p> 	<p>Debe ser de 1 g y 0.01 g de precisión y se utilizará para pasar las muestras (mezcla asfáltica reciclada) antes y después de realizar el ensayo, también para tomar el peso de algunas herramientas.</p>
<p>Papel Filtro para centrifuga:</p> 	<p>El Papel Filtro para el Extractor Centrífugo se coloca en la parte superior del recipiente que va a contener la muestra bituminosa a ser ensayada; con el fin de evitar pérdida de finos en el momento que el variador de velocidad hace girar el Plato[31].</p>




<p><b>Herramientas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Espátula</li> <li>- Bandejas metálicas</li> <li>- Recipientes metálicos</li> </ul>	<p>Las herramientas se utilizarán para la colocación, contener y mezclar los agregados reciclados y no reciclados para su uso posterior.</p>
<p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gasolina</li> <li>- Agregados reciclados</li> </ul> 	<p>Se utilizará pavimento asfáltico reciclado y la gasolina es el solvente utilizado para la extracción del bitumen de forma más rápida.</p>
<p><b>MÉTODO MARSHALL (AASHTO T-245, ASTM D -6927)</b></p>	
<p><b>Materiales y equipos</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>
<p>Molde de compactación</p> 	<p>Consiste en un molde especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de altura con su collar de extensión.</p>
<p>Martillo y pedestal de compactación</p> 	<p>El martillo de compactación debe contar con una zapata circular de 3 y 7/8 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso.</p>




<p>Extractores de probetas:</p> 	<p>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.</p>
<p>Baño María</p> 	<p>Baño María es utilizado para una variedad de aplicaciones de calentamiento que requieran una temperatura constante en laboratorio en especial el ensayo Marshall. El baño María incorpora un medidor digital programable de temperatura y permite la realización de ensayos con mayor estabilidad.</p>
<p>Prensa de estabilidad Marshall</p> 	<p>La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 22.2 kN (2265 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 44.5 N (4.54 kgf) hasta 4.45 kN (454 kgf) y 111.2 N (11.4 kgf) hasta 22.2 kN (2265 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.0025 mm (0.0001").</p>
<p>Balanza</p> 	<p>Se utilizará una balanza de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y emulsión asfáltica, también se utilizará para pesar de las probetas.</p>
<p><b>Herramientas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Espátula</li> <li>- Bandejas metálicas</li> </ul>	<p>Se utilizarán para disgregar, mezclar, acomodar los agregados reciclados y no reciclados</p>

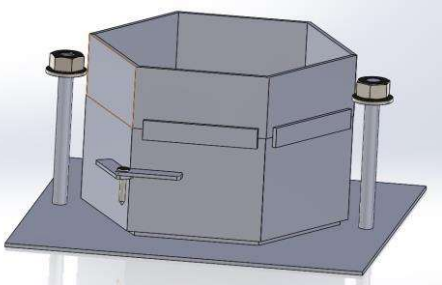






<p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mezcla asfáltica reciclado</li> <li>- Agregados finos y gruesos</li> <li>- Cemento</li> <li>- Agua</li> <li>- Emulsión asfáltica</li> </ul>	<p>Para la elaboración de las probetas se utilizará cemento, agregados reciclados y no reciclados. También se utilizará agua que será mezclado con la emulsión asfáltica.</p>
<p><b>MÉTODO RICE (AASHTO T 209, ASTM D 2041)</b></p>	
<p><b>Materiales y equipos</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>
<p>Vibrodesairador</p> 	<p>Conjunto de vibrador con base para el picnómetro y el conjunto de tuberías de extracción de vacíos de aire.</p> <p>El tazón de vacío pueden ser metálicas o plásticas con un diámetro aproximado de 180 a 260 mm y una altura de al menos 1601 mm, debe contar con una tapa transparente asegurada con un empaque de caucho y con una conexión para la aplicación del vacío.</p>
<p>Bomba de vacíos</p> 	<p>Va acoplado al picnómetro para la extracción de vacíos de aire en la mezcla. Debe ser capaz de evacuar el aire del recipiente de vacío hasta una presión residual de 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos.</p>
<p>Balanza</p> 	<p>La balanza debe ser poseer una capacidad amplia y sensibilidad suficiente, se utilizará para medir el peso del recipiente al inicio y al finalizar el ensayo.</p>




<p><b>Herramientas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bandeja metálica</li> <li>- Espátula</li> </ul>	<p>La bandeja y la espátula serán utilizados para disgregar las muestras (probetas) previos al ensayo.</p>
<p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Probetas</li> </ul> 	<p>Se utilizarán las probetas que han sido ensayadas en la máquina de estabilidad y flujo Marshall.</p>
<p><b>DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) DE LOS AGREGADOS GRUESOS (AASHTO T 85-74, ASTM C127-12)</b></p>	
<p><b>Materiales y equipos</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cesto metálico</li> </ul> 	<p>Recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas. Para agregados con tamaño máximo igual o inferior a 37.5 mm (1 ½”) se utilizarán canastillas con capacidades de 4 a 7 litros y para tamaños superiores, canastillas de mayor capacidad. El recipiente debe estar construido de tal forma que prevenga atrapar aire cuando se sumerja.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recipiente con agua</li> </ul> 	<p>El tanque o recipiente debe permitir que la muestra y su soporte queden totalmente inmersos y suspendidos debajo de la balanza, equipado con un flotador externo para mantener constante el nivel del agua.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza</li> </ul> 	<p>La balanza debe estar equipada con un sistema que permita suspender el recipiente con la muestra y determinar su masa dentro de agua.</p>
<p><b>Herramientas y otros equipos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz</li> <li>- Horno</li> <li>- Dispositivo de suspensión</li> </ul>	<p>Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergidas.</p>
<p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregado grueso</li> </ul> 	<p>Los agregados para utilizar serán los que pasen el tamiz <math>\frac{3}{4}</math> y deberán estar 24 horas sumergidos en agua.</p>
<p><b>DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) DE LOS AGREGADOS FINO. (AASHTO T 84-74, ASTM C128-12)</b></p>	
<p><b>Materiales y equipos</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Picnómetro</li> </ul> 	<p>Permite introducir la muestra de agregado fino y capaz de apreciar volúmenes con una exactitud de <math>\pm 0.1 \text{ cm}^3</math>. Su capacidad hasta el enrase será, como mínimo, un 50 por ciento mayor que el volumen ocupado por la muestra</p>

<p>- Termómetro</p> 	<p>El termómetro deberá tener una escala de 0 a 50 °C (32 a 122 °F) y con precisión de 0.1 °C (0.18 °F).</p>
<p>- Baño de agua destilada</p> 	<p>Se requiere que el baño de agua sea capaz de mantener la temperatura de 60°C</p>
<p><b>Herramientas y otros equipos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz</li> <li>- Recipientes metálicos pequeños</li> <li>- Balanza</li> <li>- Horno</li> </ul>	<p>Un tamiz de No. 8 de abertura y otros que sean necesarios, el recipiente metálico pequeño se utilizara para colocar el agregado + agua en el horno por 24 horas.</p>
<p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregado Fino</li> </ul> 	<p>Se requiere 50 gramos de agregado fino y el mismo debe pasas por el tamiz N° 8.</p>
<p><b>ELABORACIÓN DE ADOQUINES</b></p>	
<p><b>Materiales y equipos</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>

<p>Martillo compactador Marshall</p> 	<p>El martillo que se utilizará para la elaboración de los adoquines de agregados reciclados y no reciclados es el martillo compactador Marshall. Con el mismo se dará un total de 75 golpes por cada cara, distribuidos 11 golpes por cada lado y 9 golpes en la parte central.</p>
<p>Balanza</p> 	<p>La balanza se utilizará para medir el peso de los agregados y la emulsión.</p>
<p>Molde</p> 	<p>Se realizó 10 moldes metálicos hexagonales de ángulo y lados iguales. Los moldes son diseñados de tol de 3mm de espesor de acero ASTM A36, la altura del molde es de 8.5 cm y los lados de 9 cm, también se realizó el collar de extensión y la base del molde.</p>
<p>Bandeja metálica</p> 	<p>Para la elaboración de los adoquines se utilizará una bandeja metálica para mezclar los agregados y la emulsión asfáltica.</p>

<p>Máquina para ensayo de compresión</p> 	<p>La máquina de ensayos compresión de la Universidad Técnica de Ambato del laboratorio de Ingeniería Civil, es utilizada para realizar ensayos en concretos y otros materiales de construcción, asegurando la precisión de los resultados y facilitando el registro ordenado y sistemático durante el ensayo. En este caso la máquina de compresión se utilizará para medir la resistencia de cada uno de los adoquines desarrollados en esta investigación.</p>
<p>Cemento hidráulico</p> 	<p>El cemento portland es un cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker, que consiste en silicatos cálcicos hidráulicos y que contiene uno o más elementos como: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso de molienda.</p> <p>El cemento Holcim Fuerte Tipo GU cumple con los establecido en la norma NTE INEN 2380 como un cemento Tipo GU para Uso General, por lo cual puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de construcción.[32]</p>
<p>Agregados reciclados</p> 	<p>Se entiende como reciclado a la reutilización de un material de que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede emplearse para construir un refuerzo en la misma carretera o alguna capa de una calzada nueva [2]. El pavimento asfáltico reciclado fue sustraído de la calle Dr. Julio Enrique Paredes a través del fresado directo del pavimento.</p>

<p>Agregados no reciclados</p> 	<p>Los agregados que se emplearán en la mezcla estarán constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente, arenas y relleno mineral. Los agregados estarán compuestos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, arcilla u otras materias extrañas.</p>
<p>Emulsiones Asfálticas CSS-1H</p> 	<p>Es una emulsión asfáltica de tipo iónica, de color negro, forma líquida, soluble en agua antes de su curado, formado por betún asfáltico, tensoactivos y agua [24].</p>
<p>Agua</p> 	<p>El agua utilizada como parte de la reacción química con las emulsiones asfálticas tiene que ser potable, debido a que cumplen un papel importante como parte del endurecimiento en la mezcla para la elaboración del adoquín.</p>

**Fuente:** Autor

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Plan de recolección de datos

- ✚ **Obtener el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en frío para la elaboración de adoquines utilizando agregados reciclados y no reciclados.**

Para obtener el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en frío tanto para agregados reciclados y no reciclados, es necesario desarrollar algunos métodos de ensayo tales como: extracción, granulométrico, Marshall y Rice. Estos ensayos permitirán

optimizar nuestro diseño al analizar los resultados y encontrar el porcentaje de emulsión asfáltica óptimo en la mezcla.

**✚ Elaborar adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados de geometrías convencionales.**

Para la elaboración de los adoquines con agregados reciclados y no reciclados se utilizará un molde metálico de una geometría hexagonal de lados y ángulos iguales. Se elaborará 15 adoquines con agregados reciclados y 15 adoquines con agregados no reciclados, los mismos tendrán diferentes espesores como: 6cm, 7cm y 8cm, siendo 5 adoquines para cada espesor y posteriormente son ensayados a compresión.

**✚ Determinar la resistencia a la compresión de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.**

Una vez elaborado los adoquines con diferentes espesores se procederá a trasladar a la Universidad Técnica de Ambato, laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil, lugar donde se realizará el ensayo de compresión de cada uno de los adoquines bajo la norma INEN 1485.

**✚ Comparar la resistencia a la compresión de adoquines con mezcla asfáltica en frío tanto para los fabricados utilizando agregados reciclados, no reciclados y los adoquines de hormigón simple.**

Finalizando con el ensayo de compresión se obtendrá datos (resistencia máxima, fuerza máxima y porcentaje de elongación) para ser tabulados y analizados estadísticamente, bajo la ayuda del programa Excel, en el cual se elaboran figuras que permitirán comparar de mejor manera las resistencias de los adoquines elaborados con los distintos materiales y espesor.

Una vez analizado las resistencias del producto se seleccionará el adoquín con el espesor que posea mayor resistencia, para posteriormente analizar y dar el uso adecuado.



✚ **Diseñar la estructura de un pavimento articulado de adoquines con mezcla asfáltica en frío.**

La estructura de un pavimento articulados con adoquines desarrollados en esta investigación se lo realizará de la siguiente forma: en primera instancia se hará un replanteo y nivelación, se colocará la subbase clase 3, se pondrá los adoquines de mejor resistencia y se colocará una berma de hormigón simple de 180kg/cm<sup>2</sup>.

✚ **Analizar la diferencia en costos de un pavimento articulado de adoquines con mezclas asfálticas y adoquines de hormigón simple.**

Para efectuar el análisis de costos se tendrán en cuenta diferentes variables como: materiales para la elaboración del producto, equipos y herramientas, mano de obra y transporte, que involucran el costo final de la colocación de los adoquines en 1 m<sup>2</sup> y se compara con la colocación de los adoquines tradicionales en el mismo 1 m<sup>2</sup>.

## **2.2.2 Plan de procesamiento y análisis de información**

Para la elaboración del trabajo experimental se realizará empleando una metodología de investigación bibliográfica, de laboratorio y aplicada para cumplir con los objetivos propuestos mediante el procedimiento detallado a continuación:

### **2.2.2.1 Muestreo de agregados de la mezcla asfáltica reciclada obtenidos mediante el proceso de fresado.**

La obtención de la muestra de agregados reciclados fue tomada de la calle Dr. Julio Enrique Paredes. En el lugar el GAD de Ambato, trabajaba en la remoción de la carpeta asfáltica mediante un proceso de fresado.

### **2.2.2.2 Para la determinación del porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados se realizará los siguientes ensayos:**

#### **Ensayo de Extracción**

El método de ensayo está diseñado para la extracción del bitumen de mezclas asfáltica utilizando el Método A de ASTM D-2172.

**Procedimiento:**

- Para ensayar el material primero realizar un cuarteo para obtener una muestra representativa. La muestra por utilizar deberá tener un peso de aproximadamente 1200 gr.
- Colocar en el plato o recipiente los 1200 gr de mezcla asfáltica reciclada.
- Cubrir la muestra con el solvente (gasolina) y esperar 10 minutos a que la gasolina disgregue la muestra.
- Bajo el tubo de drenaje colocar un recipiente (botella o bidón), sujetar bien para evitar la pérdida del solvente recuperado.
- Secar en el horno el papel filtro y pesar.
- Colocar el papel filtro alrededor del borde del plato y cerrar la cubierta herméticamente.
- Encender la máquina centrífuga aumentando lentamente la velocidad para realizar el lavado de la muestra, cuando el solvente deje de fluir, detener la máquina.
- Una vez detenida la máquina abrir la cubierta, quitar cuidadosamente el papel filtro, con ayuda de una espátula remover la mezcla impregnada a los lados del plato y colocar nuevamente el solvente. Repetir el procedimiento anterior las veces necesarias hasta que el asfalto sea totalmente extraído y el solvente salga limpio (con su color original).
- Una vez terminado el lavado de la mezcla medir el volumen del solvente recuperado y de inmediato homogenizar cuidadosamente y tomar una muestra de 100 ml en un recipiente. El recipiente debe estar previamente pesado.
- Remover el papel filtro y quitar cuidadosamente el agregado fino adherido tanto como sea posible y agregarlo en el plato del extractor. Secar el papel filtro en el horno por un tiempo de 3 a 5 minutos, dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar.
- Calcinar la muestra de 100 ml de solvente hasta que se consuma completamente, dejarlo enfriar a temperatura ambiente y pesar.
- Sacar cuidadosamente el agregado pétreo que quedó en el plato de la centrífuga y colocar en el horno hasta que se haya evaporado toda la gasolina y la muestra este

completamente seca. Sacar la muestra del horno, enfriar a temperatura ambiente y pesar.

### **2.2.2.3 Realización de ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados**

#### **A) Ensayo Marshall**

El ensayo Marshall se lo desarrollará de acuerdo con la norma ASTM D-1559.

#### **✚ Procedimiento**

##### **Elaboración de probetas**

- Se realizará 3 probetas para cada combinación de agregados no reciclados y emulsiones asfálticas, los porcentajes de emulsiones a utilizar son 6%, 7%, 8%, 9%, 10% y 11% dando un total de 18 probetas, y se elaborará 9 probetas con agregados reciclados con los siguientes porcentajes de emulsión asfáltica de 10%, 10.5% y 11%.
- Para la elaboración de la mezcla asfáltica con agregados no reciclados es necesario tamizar los agregados finos y gruesos para un diseño de 1/2 utilizando los tamices 1/2, 3/8, N° 4, N°8, N°50, N°200.
- Pesar las cantidades necesarias de agregados finos y gruesos para la elaboración de las probetas. La mezcla de agregados y emulsión asfáltica tendrá un peso aproximado de 1100 gr, por lo tanto, para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de agregados y emulsiones asfálticas y así alcanzar dicho peso. Entonces en los 1100 gramos habrá un 5% de cemento asfáltico y el 95% lo componen los agregados pétreos.
- Mezclar las emulsiones asfálticas con agua en una combinación 70:30, 70% de emulsión + 30% de agua.
- En una bandeja de mezcla deberá colocarse la cantidad indicada de agregados mezclándose de manera uniforme y abriéndose un cráter dentro del cual se añade la cantidad calculada de emulsiones asfálticas. Este procedimiento se repite para las otras muestras que se van a preparar de acuerdo con cada porcentaje de emulsión asfáltica.

- Los moldes y el martillo compactador deberán estar limpios y con ayuda de una brocha, en la parte interior se colocará una mínima cantidad de aceite hidráulico.
- Una vez colocado el aceite hidráulico se arma el molde, se coloca su base y collar de extensión.
- Coloque la muestra de 1100 gr en el molde, la cual debe enrazarse con una espátula o palustre dando 15 veces de arriba hacia abajo alrededor del perímetro y 10 veces en la parte interior.
- A continuación, se sujeta el molde con el aro de ajuste que tiene para tal efecto, se apoya sobre la mezcla la zapata del martillo compactador y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del martillo se mantenga siempre vertical.
- Al terminar el número necesario de golpes quite el collar de extensión e invierta el molde sobre la placa base, ambas caras de cada probeta reciben el mismo número de golpes.
- Vuelva a colocar el collar y aplique el mismo número de golpes en el lado contrario de la probeta.
- Se retira el molde del pedestal, se le quita el collar y la base y se deja enfriar a la temperatura ambiente por 24 horas.
- Realizar el mismo procedimiento para las 17 probetas faltantes con agregados no reciclados y las 9 probetas con agregados no reciclados.
- Luego de 24 horas se coloca al molde sobre un gato hidráulico adecuado y se saca de él la probeta compactada, la cual debe identificarse marcándola en cada cara el número respectivo.
- Finalmente, se coloca la probeta sobre una superficie lisa y bien ventilada durante 2-3 días.

### **Ensayo de probetas**

- Medir el espesor de cada una de las probetas.
- Con ayuda de una balanza digital tomar el peso de la probeta seca en el aire, peso de la probeta en el agua y peso en el aire y peso de la probeta

saturada y superficie seca. Realizar el mismo procedimiento con las 18 probetas.

- Luego de tomar el peso se lleva las probetas a un baño de agua, por ser elaboradas en frío la temperatura del agua será a 22 °C, durante un lapso de 15 minutos.
- Para el ensayo de las probetas se limpia cuidadosamente la superficie interior de la mordaza de prueba y se lubrican las barras guías con una delgada película de aceite, de manera que el segmento superior del anillo deslice libremente, se debe controlar que su dial esté bien fijo y en cero cuando no haya carga.
- Estando listo el aparato de carga Marshall para el ensayo, se saca la probeta del agua y se coloca en la mordaza inferior de prueba y se centra. Luego se ajusta el anillo superior en posición y se centra el conjunto en el mecanismo de carga.
- Se aplica carga a la probeta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define mediante la máxima lectura obtenida en el dial de carga. Se obtiene los valores de estabilidad Marshall (lb) y flujo (pulg). Se realiza el mismo procedimiento con las probetas restantes.
- Finalmente se tabula los datos obtenidos en el ensayo para un correcto análisis.
- En necesario realizar la corrección de la estabilidad por espesor de probetas para lo cual se usó la siguiente tabla ubicada en los anexos.

## **B) Ensayo Rice**

El ensayo se realizó bajo la norma **ASTM D 2041**

### **✚ Procedimiento**

- Elegir una probeta de cada porcentaje de emulsión asfáltica.
- Disgregar o separar las partículas de cada una de las probetas con ayuda de un martillo o una espátula.

- Colocar la muestra en el recipiente y sellar con su tapa.
- Pesar el recipiente + tapa + muestra.
- Luego se llena a  $\frac{3}{4}$  del volumen del recipiente y con la ayuda de nuestras manos presionar los residuos dentro del agua y así sacar todos los vacíos posibles de los agregados por un tiempo de 2 minutos.
- Se coloca en la base del vibrodesairador, se arma el sistema y se pone a funcionar en conjunto con la bomba de vacíos en un período de 15 minutos.
- El recipiente será movido a intervalos de 3 minutos para ayudar así a remover las burbujas de aire.
- Después del período de vibro desairado, se procede a llenar completamente el frasco y se pesa el frasco junto con la mezcla y el agua, se registra el dato.
- Realizar el mismo procedimiento con las probetas de los distintos porcentajes.

### **C) Densidad relativa de los agregados grueso**

El ensayo se realizó bajo la norma ASTM C 127 donde facilita el procedimiento a realizar en el ensayo con el fin de obtener la gravedad específica.

#### **✚ Procedimiento:**

- Sumergir los agregados gruesos en agua durante 24 horas, la muestra debe estar previamente lavada y secada.
- Luego de las 24 horas, retirar los agregados del agua para posteriormente secarlos con ayuda de una franela y pesar.
- Colocar los agregados en una canastilla y determinar el volumen de las muestras en aire y en el agua.
- Utilizando los valores obtenidos realizar los cálculos correspondientes al método de ensayo.

### **D) Densidad relativa de los agregados finos**

El ensayo se realizó bajo la norma AASHTO T84 donde facilita el procedimiento a realizar en el ensayo.

#### **✚ Procedimiento:**

- Tomar una muestra representativa de agregado fino.
- Tamizar la muestra en el tamiz No. 40 y utilizar la muestra que pasa de dicho tamiz.
- Pesar 50g de la muestra ya tamizada para posteriormente colocar en el picnómetro (utilizar un picnómetro calibrado).
- Colocar agua en el picnómetro + muestra hasta la marca de aforo.
- Colocar el picnómetro + muestra + agua en la máquina de baño María (40°C) por un tiempo de 5min
- Transcurrido el tiempo sacar el picnómetro del baño María y dejar enfriar hasta obtener una temperatura de agua de 15 a 20 °C (medir la temperatura agua con ayuda de un termómetro).
- Expulsar el aire que se encuentra en el interior girando el picnómetro hasta comprobar que no existan burbujas en el interior para a continuación llenarlo nuevamente con agua hasta la marca de aforo y pesarlo.
- Finalmente, colocar la muestra en un recipiente metálico y secar en el horno durante 24 horas, para posteriormente pesarlo.
- Utilizando los valores obtenidos realizar los cálculos correspondientes al método de ensayo.

#### **2.2.2.4 Fabricación de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.**

Para la fabricación de los adoquines con mezclas asfálticas en frío se realizó 10 moldes metálicos hexagonales de ángulo y lados iguales. Los moldes son diseñados de tol de 3mm de espesor, la altura del molde es de 8.5 cm y los lados de 9 cm, también se realizó el collar de extensión y la base del molde.

Se realizará adoquines de distintos espesores tales como: 6cm, 7 cm y 8cm, las mismas que serán 30 de mezclas asfálticas en frío de agregados reciclados y no reciclados y 15 de hormigón simple.

#### **2.2.2.5 Realización de ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.**

Una vez elaborado los adoquines con mezclas asfálticas en frío, se deja secar 18 horas en el molde y 48 horas fuera del molde. Para los adoquines de hormigón simple dejar 12 hora en el molde y luego colocar en la cámara de curado por 28 días, para obtener la resistencia deseada. Realizar el ensayo en la máquina de compresión cada uno de los adoquines.

#### **2.2.2.6 Correlación de la resistencia a la compresión entre los dos tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple.**

Los adoquines elaborados en frío con agregados reciclados y no reciclados, se espera que tenga una correlación en base a la resistencia con los adoquines elaborados con hormigón simple. Debido a que están diseñados con la misma geometría e igual espesor (6cm, 7cm y 8cm de altura)

#### **2.2.2.7 Análisis de costos de pavimentos articulados de adoquines con mezcla asfáltica en frío y adoquines de hormigón simple.**

En primera instancia se analiza el costo de los adoquines elaborados con mezclas asfálticas en frío y los adoquines elaborados con hormigón simple. De igual modo se procederá a efectuar el análisis de costos del pavimento articulado teniendo en cuenta diferentes variables como: materiales, equipos y herramientas, mano de obra y transporte, que involucran el costo final de la colocación de los adoquines en  $1\text{m}^2$  y se compara con la colocación de los adoquines de hormigón simple en el mismo  $1\text{m}^2$ .

#### **2.2.2.8 Diseño de un pavimento articulado de adoquines con mezclas asfálticas en frío.**

Al obtener los resultados ya sea la resistencia a la compresión y el análisis de costos de cada uno de los adoquines elaborados con los distintos materiales se realizará el diseño de la estructura para un pavimento articulado.



La estructura de un pavimento articulados con adoquines se lo realizará de la siguiente forma: en primera instancia se hará un replanteo y nivelación, se colocará la subbase clase 3, se colocará una cama de arena, se pondrá los adoquines de mejor resistencia y se colocará una berma de hormigón simple de 180kg/cm<sup>2</sup>.

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis y discusión de resultados

#### 3.1.1 Porcentaje de asfalto residual de los agregados reciclados.

##### 3.1.1.1 Ensayo de extracción de la mezcla asfáltica reciclada

Se realizó la prueba de laboratorio “Método de extracción de asfalto”, para tres muestras de mezcla asfáltica reciclada, mediante el cual se obtuvo los siguientes datos que se mostrará en la tabla 3.1

**Tabla 3. 1** Ensayo de extracción del asfalto reciclado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ENSAYO DE CENTRIFUGADO (NORMA AASHTO T-164)			
Muestra	1	2	3
Peso inicial de la muestra	1119,6	742,5	762,6
Peso de la muestra luego de la prueba	994,7	662,6	676,3
Peso inicial del filtro	16,41	18,29	18,97
Peso del filtro luego de la prueba	23,8	21,8	22,2
Residuo en 100 cm <sup>3</sup> de gasolina	0,6	0,8	0,8
Residuo en 8400 cc de gasolina	52,0	33,0	38,8
% asfalto	<b>5,85</b>	<b>5,84</b>	<b>5,81</b>
<b>Promedio</b>	<b>5,83</b>		


**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Mediante el ensayo de extracción de asfalto, realizado con tres muestras se determina los siguientes resultados, para la muestra 1 se obtuvo un porcentaje de asfalto 5.85%, para la muestra 2 se obtuvo un porcentaje de asfalto de 5.84%, y para la última muestra se obtuvo un porcentaje de asfalto de 5.81%: entonces, al realizar el promedio entre las tres muestras se obtiene un porcentaje de asfalto de 5.83%, lo que significa que la muestra de pavimento asfáltico reciclado tiene una buena cantidad de cemento asfáltico en relación a un asfalto nuevo que tiene un 6.2 por ciento de asfalto.

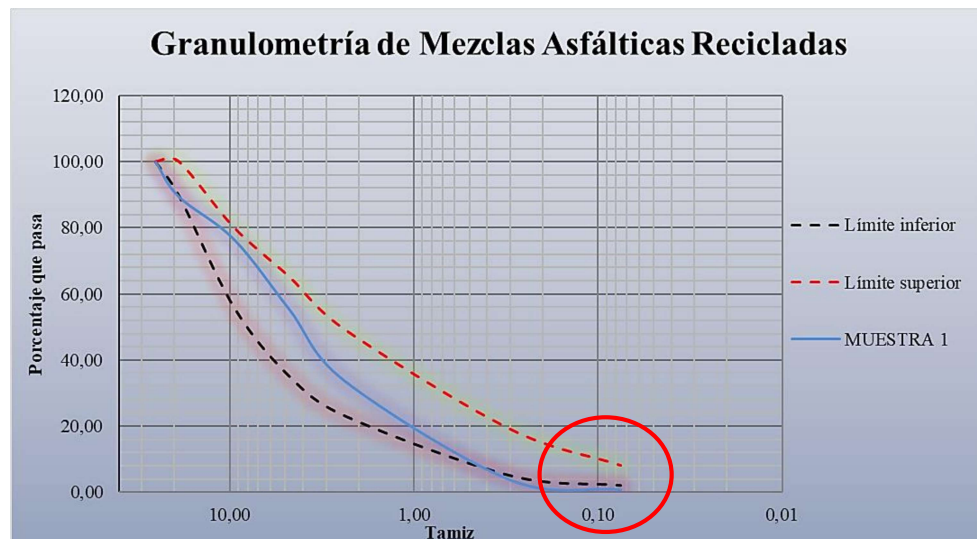
### 3.1.1.2 Análisis granulométrico de los agregados reciclados.

Se realizó la prueba de laboratorio “Análisis granulométrico” para dos muestras de pavimento asfáltico reciclado, donde se determinó la disposición de las partículas en la muestra, teniendo como resultado los siguientes datos que se mostrará en la tabla 3.2 y tabla 3.3.

**Tabla 3. 2 Granulometría de la muestra 1 de pavimento asfáltico reciclado**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS</b>							
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% acumulado	% QUE PASA	Límite inferior	Límite superior
Carpeta asfáltica							
3/4"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	19,05	125,40	10,45	10,45	89,55	90,00	100,00
3/8"	9,53	155,50	12,96	23,41	76,59	56,00	80,00
#4	4,75	256,11	21,34	44,75	55,25	35,00	65,00
#8	2,36	260,90	21,74	66,49	33,51	23,00	49,00
#50	0,30	357,60	29,80	96,28	3,72	5,00	19,00
#200	0,075	35,60	2,97	99,25	0,75	2	8
PASA #200		9,00	0,75	100,00	0,00		
<b>TOTAL</b>		1200					
Peso cuarteo (gr)		1200,00					

Fuente: Autor



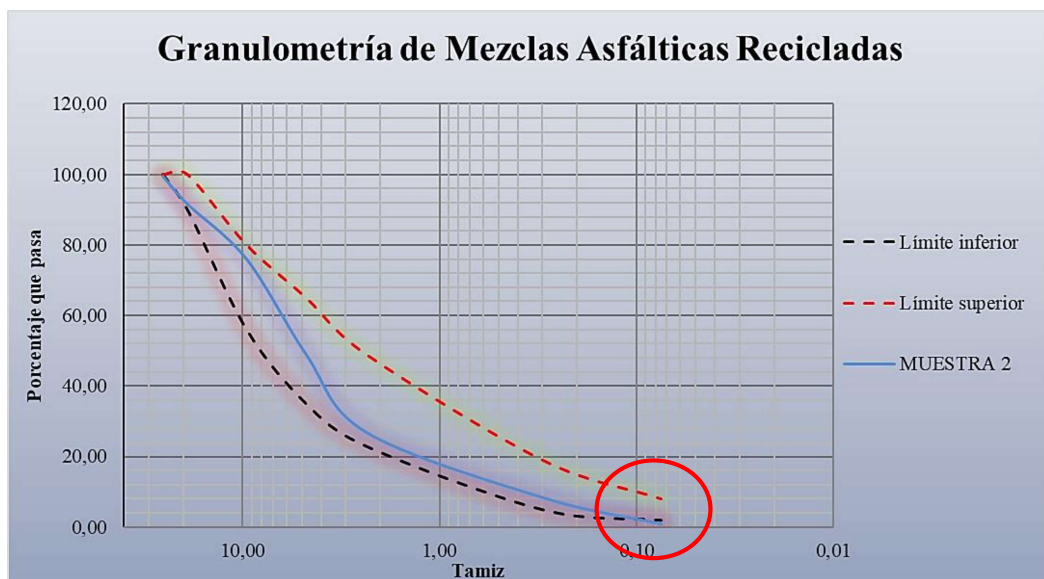
**Figura 3. 1 Granulometría de la muestra 1.**

Fuente: Autor

**Tabla 3. 3 Granulometría de la muestra 2 de pavimento asfáltico reciclado**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS							
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% acumulado	% QUE PASA	Límite inferior	Límite superior
Carpeta asfáltica							
3/4"	25,40	5,40	0,45	0,45	99,55	100,00	100,00
1/2"	19,05	100,00	8,35	8,35	91,65	90,00	100,00
3/8"	9,53	187,70	15,68	24,03	75,97	56,00	80,00
#4	4,75	324,40	27,09	51,12	48,88	35,00	65,00
#8	2,36	264,00	22,05	73,17	26,83	23,00	49,00
#50	0,30	222,20	18,56	91,73	8,27	5,00	19,00
#200	0,075	90,00	7,52	99,25	0,75	2	8
PASA #200		9,00	0,75	100,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		1197					
Peso cuarteo (gr)		1197					

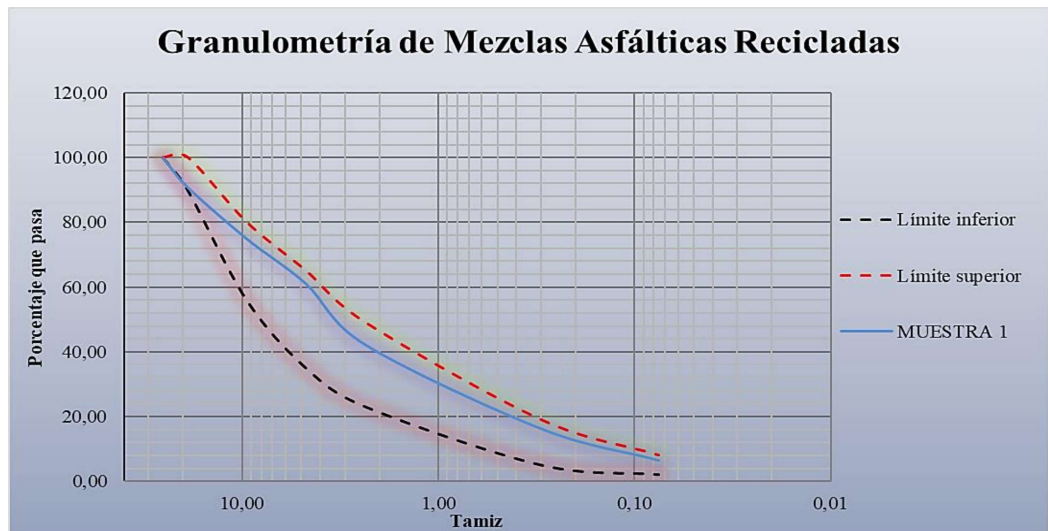
**Fuente:** Autor



**Figura 3. 2 Granulometría de la muestra 2**

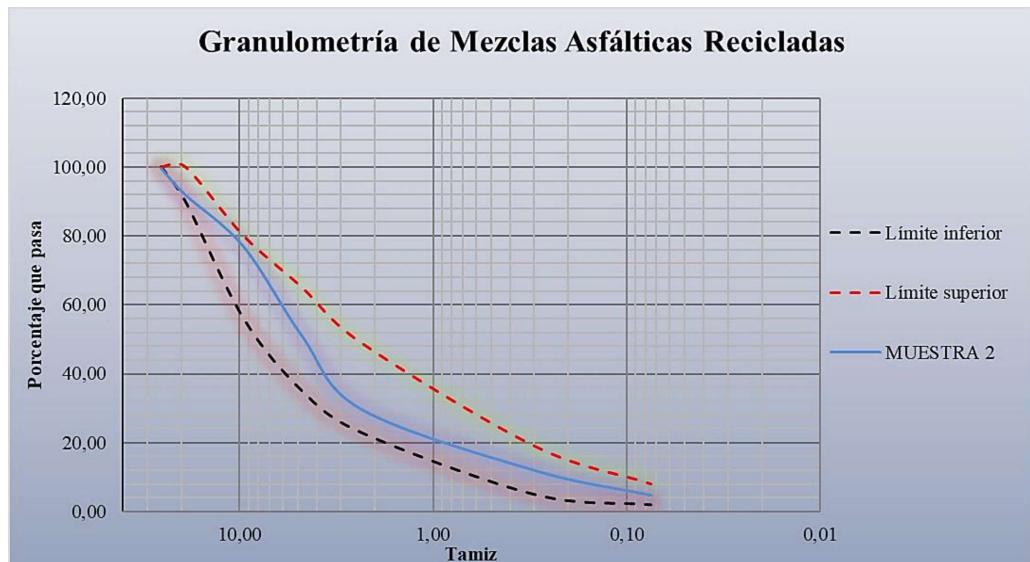
**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Se puede establecer por medio de la figura 3.1 y 3.2, que las mezclas asfálticas recicladas en los tamices  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", #4 y #8 se mantienen en los límites superiores e inferiores admisibles, sin embargo, carece de agregado fino en los tamices #50 y #200; por lo cual, fue necesario la incorporación o adición de cemento portland en un porcentaje del 6% (porcentaje que está dentro de los límites permitidos), y así mantener los límites admisibles propuestos por la norma MOP 001-F-2002 como se observa en la figura 3.4 y 3.5 la corrección de las curvas granulométricas de la muestra 1 y 2.



**Figura 3. 3** Granulometría corregida de la muestra 1

**Fuente:** Autor



**Figura 3. 4** Granulometría corregida de la muestra 2


**Fuente:** Autor

### 3.1.2 Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados

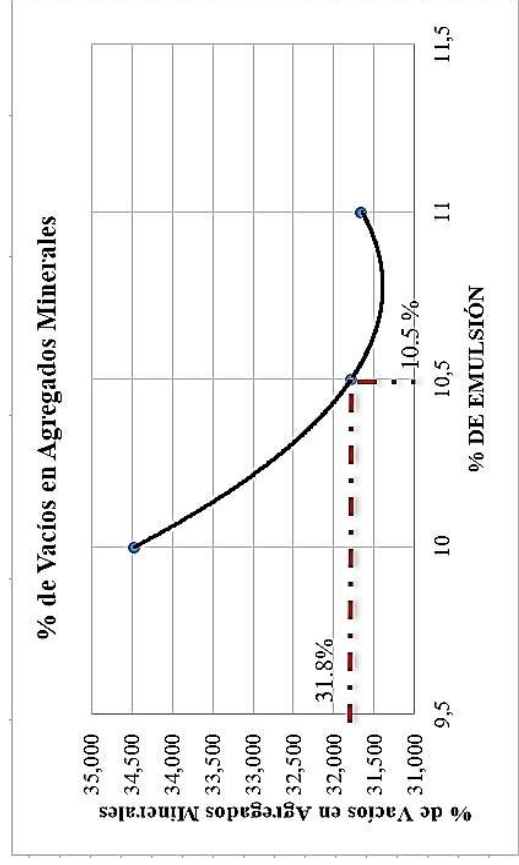
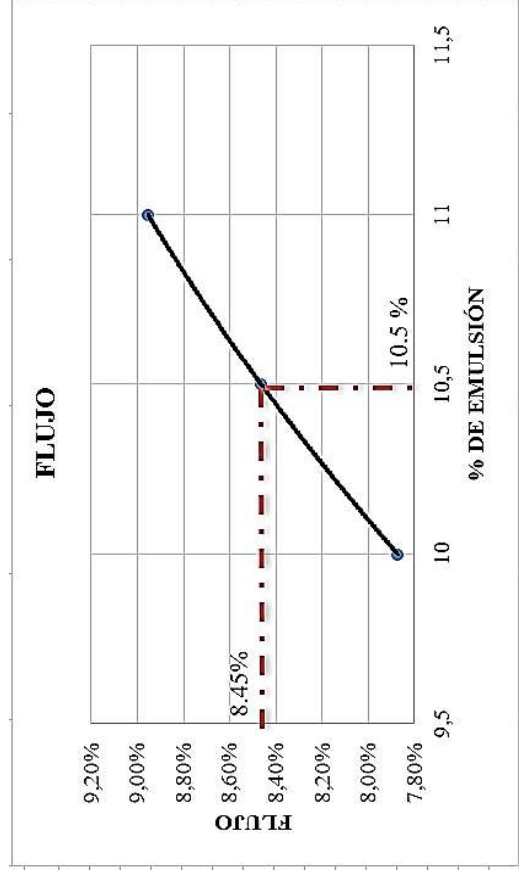
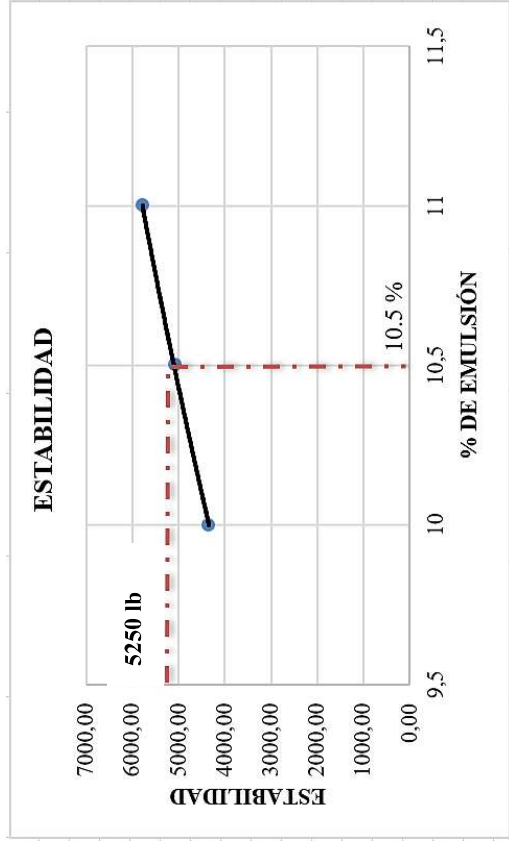
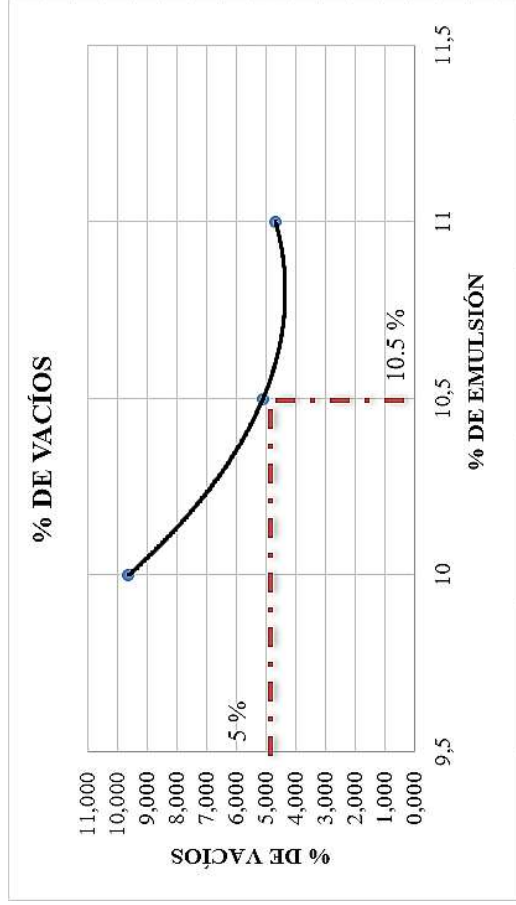
#### 3.1.2.1 Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados

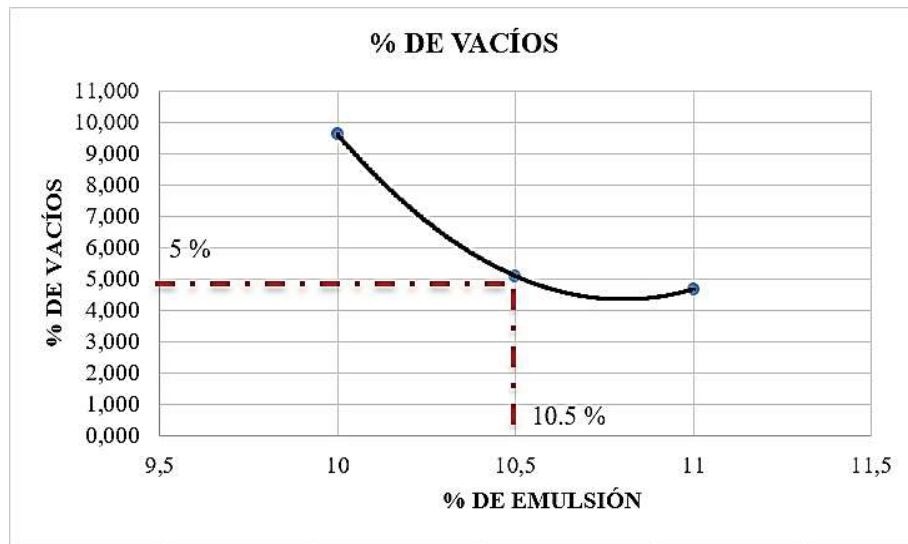
Se realizó la prueba de laboratorio “Ensayo Marshall” para tres muestras con pavimento asfáltico reciclado, donde se incorporó disgregando como resultado los siguientes datos que se mostrará en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Ensayo Marshall de mezcla asfáltica reciclada

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>ENSAYO MARSHALL</b>															
Peso específico de los Agregados				2,655											V.M. A
Peso específico de la Emulsión				0,9											Vac. Agr. Mf
Moldeo	% de emulsión asfáltica	Peso de la muestra gr.		Volumen de Masa		Peso específico		% de asfalto absorbido		Volumen % Total		V.M. A			
No.		Aire	s.s.s.	en Agua	Aire	Densidad Bulk	Densidad Máxima Teórica	Densidad Máxima Medida	(i)	(j)	Agregados AC	Vacios Aire	Asfalto Efectivo		
a	b	c	d	e	F	G	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	M	N		
					d-e	f=c/f			$\frac{(i-h)1000}{i^*h(100-b)}$	(100-b) g G. Agreg.	$(i-g)/i^*100$	100-k-l	100-k		
1	10,00	6,2	950,2	950,5	455,0	1,918	2,222	2,139	5,790	65,0	10,3	24,6	34,99		
2	10,00	6,6	1001,7	1002,1	485,0	1,937	2,222	2,139	5,740	65,7	9,4	24,9	34,33		
3	10,00	6,6	992,9	993,4	483,0	1,945	2,222	2,139	5,710	65,9	9,1	25,0	34,06		
Promedio						<b>1,93</b>					<b>9,61</b>		<b>34,46</b>		
1	10,50	6,3	952,5	952,9	485,0	2,036	2,204	2,139	5,730	68,6	4,8	26,5	31,38		
2	10,50	6,9	1050,0	1050,8	519,8	2,020	2,204	2,139	5,780	68,1	5,6	26,3	31,91		
3	10,50	6,9	1048,3	1048,7	520,2	2,015	2,204	2,139	5,790	67,9	5,8	26,3	32,07		
Promedio						<b>2,02</b>					<b>5,39</b>		<b>31,78</b>		

3.1.2.1.1 Figuras Marshall para pavimentos asfáltico reciclado.





**Figura 3. 5** Curva, Vacíos con aire Vs % de emulsión asfáltica

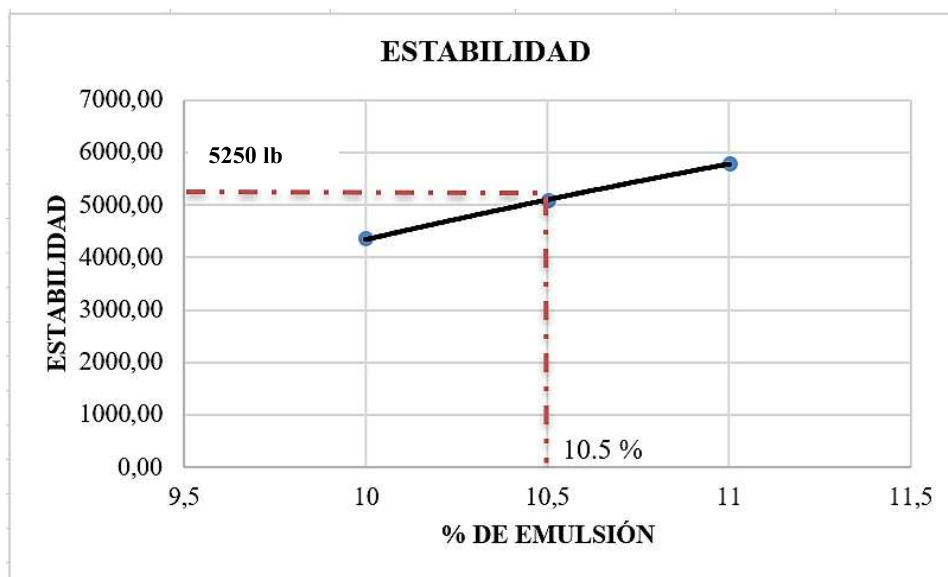
**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.5 se observa la curva polinómica realizada con los datos obtenidos en el ensayo Marshall, donde se presenta una curva en forma descendente-ascendente que indica lo siguiente: que a mayor cantidad de emulsión asfáltica menor es la cantidad de vacíos totales en la mezcla. Para encontrar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, se toma en cuenta que el rango de vacíos totales para este tipo de mezclas es de 3-18% de acuerdo con la tabla 3.5 de las especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto. Tomando en cuenta los límites dados por el Instituto del Asfalto se seleccionará un porcentaje de vacíos totales de 5 % dando un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.5% para mezclas asfálticas recicladas.

**Tabla 3. 5** Especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto. [33]

Propiedades del ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2 °C	500 (2224)	-
Mezclas pavimentación		
Vacíos Totales, %	3	18
Mezcla Compactada		
Flujo (Pulg. /100)	8	18
Cubrimiento de agregados.	50	-





**Figura 3. 6** Curva, Estabilidad Vs % de Emulsión asfáltica

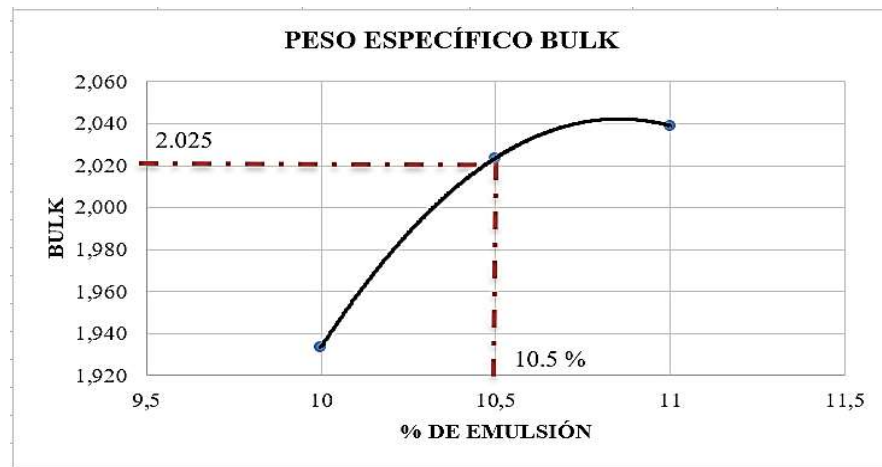
**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.6 indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, mayor es su estabilidad. Una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.5% se obtuvo una estabilidad de 5250 lb, siendo este valor mayor al establecido en la tabla 3.6.

**Tabla 3. 6** Criterios de diseño para mezclas Marshall

TIPO DE TRÁFICO	Muy pesado	Pesado	Medio	Liviano
<b>CRITERIOS MARSHALL</b>	<b>Min.</b>	<b>Min.</b>	<b>Min.</b>	<b>Min.</b>
	<b>Max.</b>	<b>Max.</b>	<b>Max.</b>	<b>Max.</b>
No. De Golpes /Cara	75	75	50	50
Estabilidad (libras)	2200 -----	1800 -----	1200 -----	1000 -----

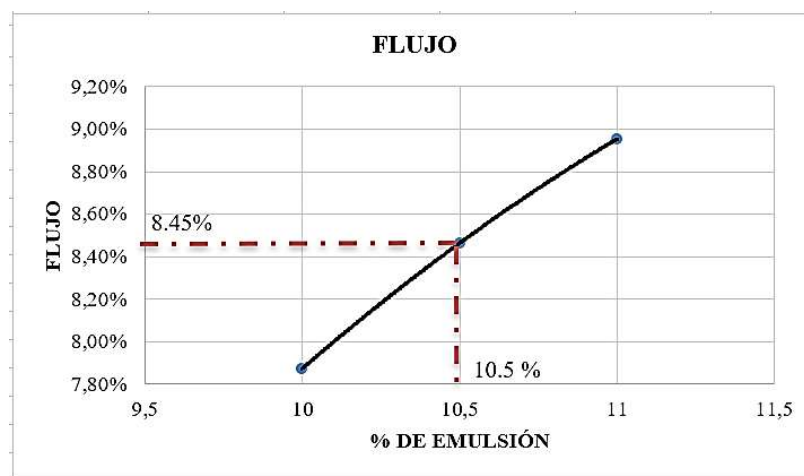
**Fuente:** MOP-001F-2002



**Figura 3. 7** Curva, Peso específico “Bulk” Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

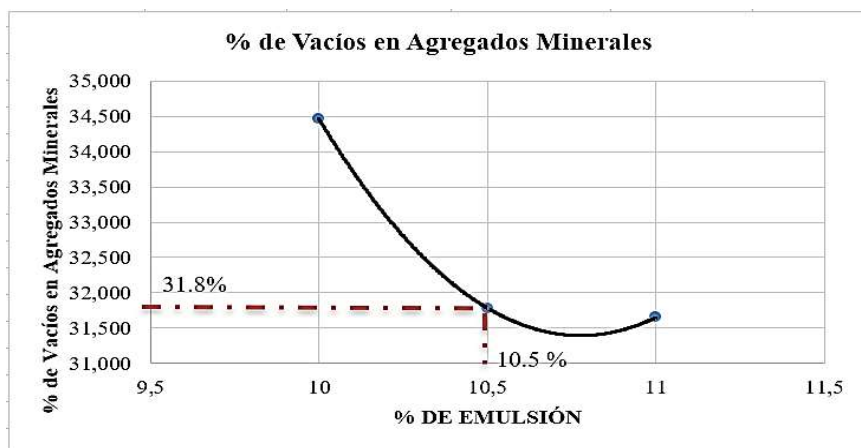
**Interpretación:** En la figura 3.7 se puede observar una curva polinómica de forma ascendente hasta llegar al punto máximo de 2.045 con un porcentaje de emulsión asfáltica del 10.7 y a partir de ese punto comienza su descenso, donde indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltico, mayor es el peso específico Bulk. Una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.5% se obtuvo un peso específico Bulk de 2.025.



**Figura 3. 8** Curva, Flujo Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

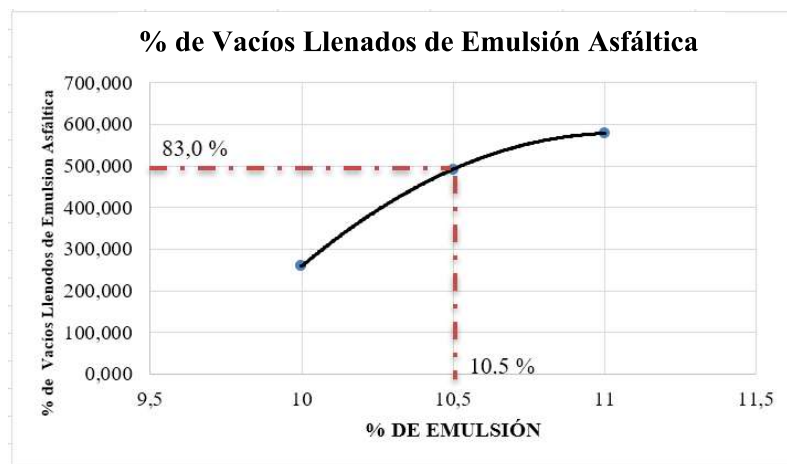
**Interpretación:** La figura 3.8 indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, mayor es su deformación. Una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.5% se obtuvo una deformación de 8.45%, estando este valor entre los límites establecidos en la tabla 3.5.



**Figura 3.9** Curva, Vacío en agregados minerales Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.9 se puede observar una curva polinómica de forma descendente teniendo un nivel mínimo de 31,4 de V.M.A con un porcentaje de emulsión asfáltica de 10,7%, a partir de ese punto inicia su ascenso en relación con el aumento del porcentaje de emulsión asfáltica. Para el porcentaje de emulsión óptimo encontrado de 10,5% se obtuvo un porcentaje de vacíos en agregados minerales de 31,800 %.



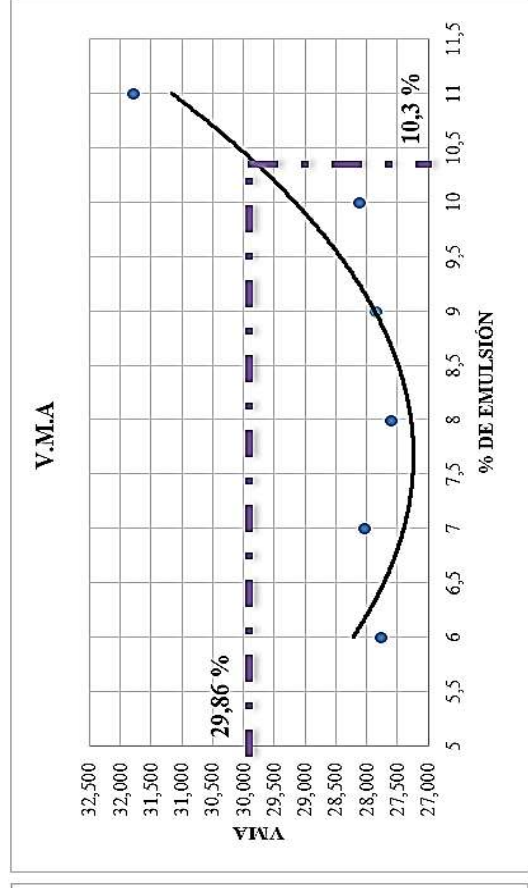
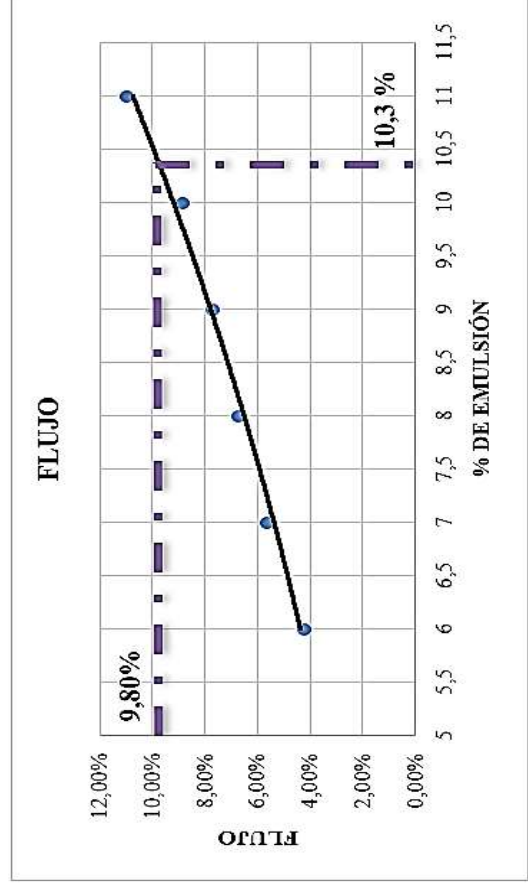
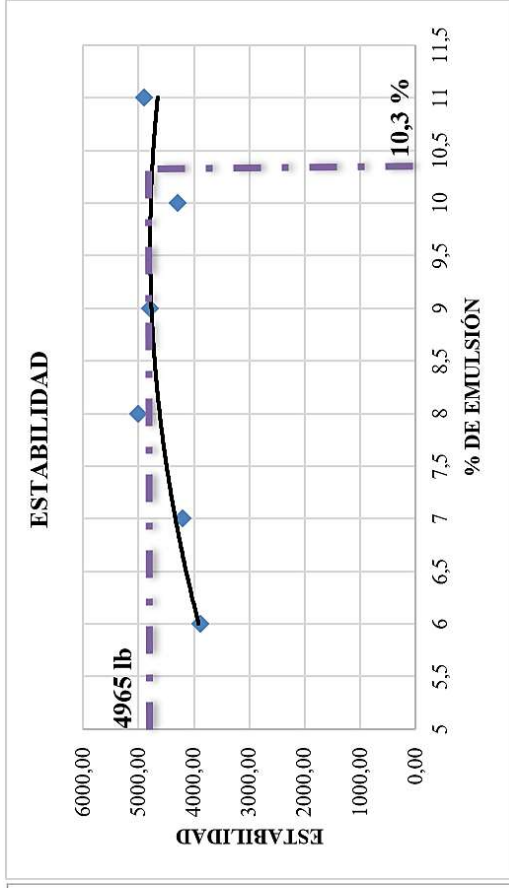
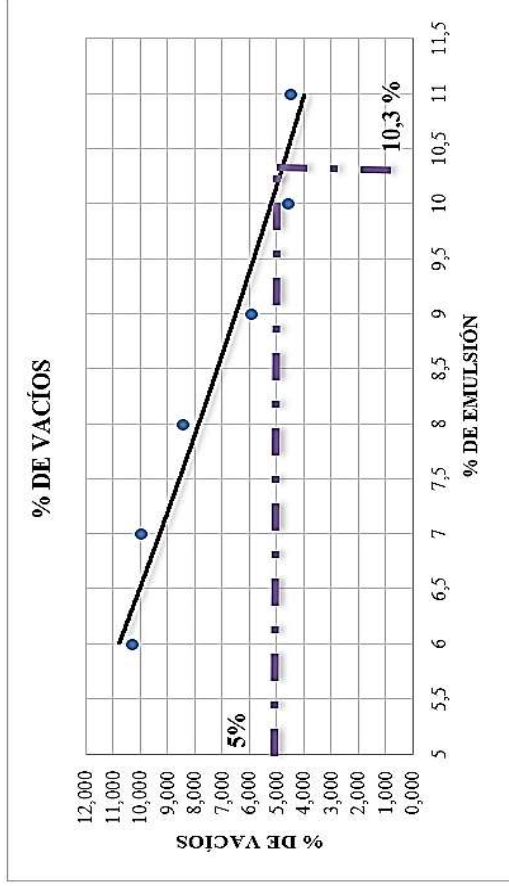
**Figura 3.10** Curva, % vacíos llenados de Emulsión Asfáltica Vs % de Emulsión asfáltica

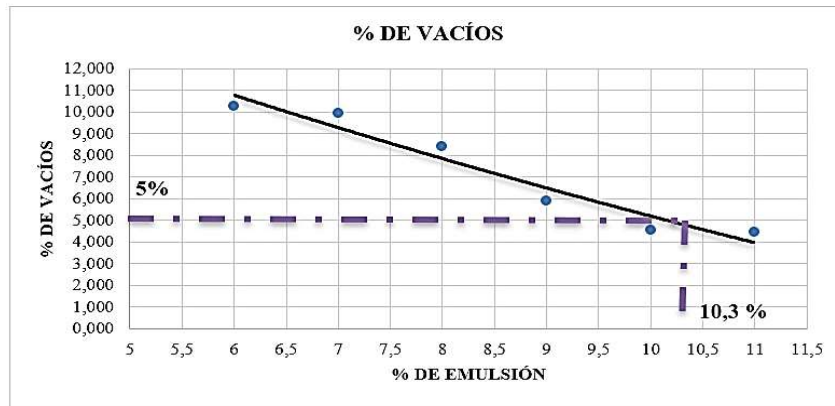
**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.10 se puede observar una curva polinómica de forma ascendente donde indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, aumenta el porcentaje de vacíos llenados con emulsión. Para el porcentaje de emulsión óptimo encontrado de 10,5% se obtuvo un porcentaje de vacíos llenados con emulsión asfáltica de 83 % aproximadamente.



3.1.2.2.1 Figuras Marshall para pavimentos asfáltico con agregados no reciclado.

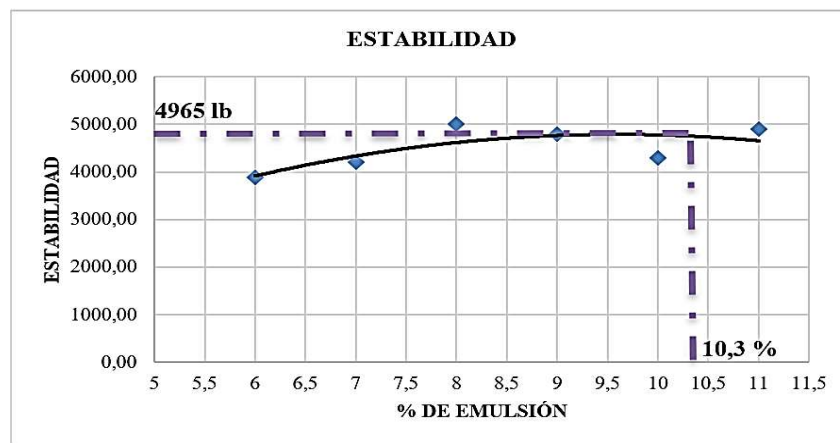




**Figura 3. 11** Curva, Vacíos con aire Vs % de emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

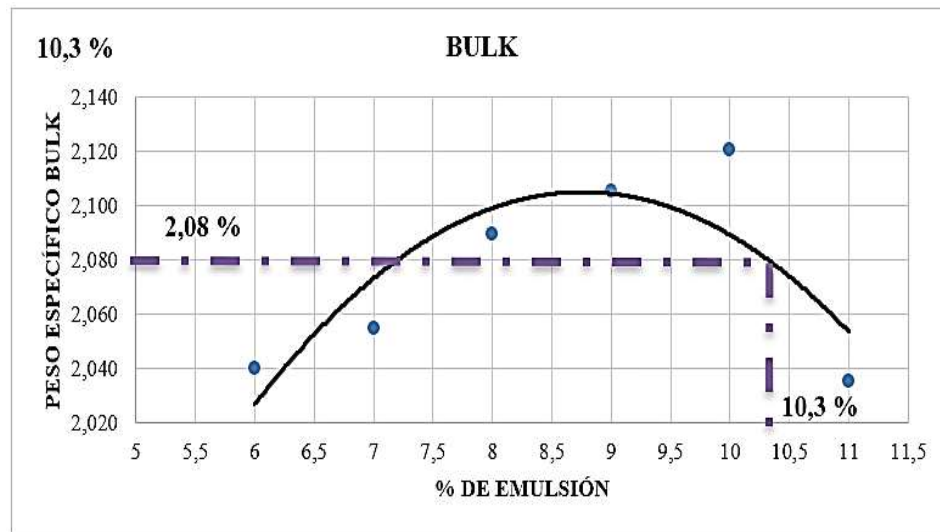
**Interpretación:** En la figura 3.11 se observa la curva polinómica realizada con los datos obtenidos en el ensayo Marshall para agregados no reciclados, donde se presencia una curva en forma descendente que indica lo siguiente: a mayor cantidad de emulsión asfáltica, menor cantidad de vacíos totales tiene la mezcla. Para encontrar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en agregados no reciclados, se toma en cuenta que el rango de vacíos totales para este tipo de mezclas es de 3-18% de acuerdo con la tabla 3.5 de las especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto. Tomando en cuenta los límites dados por el instituto del asfalto se seleccionará un porcentaje de vacíos totales de 5 % dando un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.3%.



**Figura 3. 12** Curva, Estabilidad Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

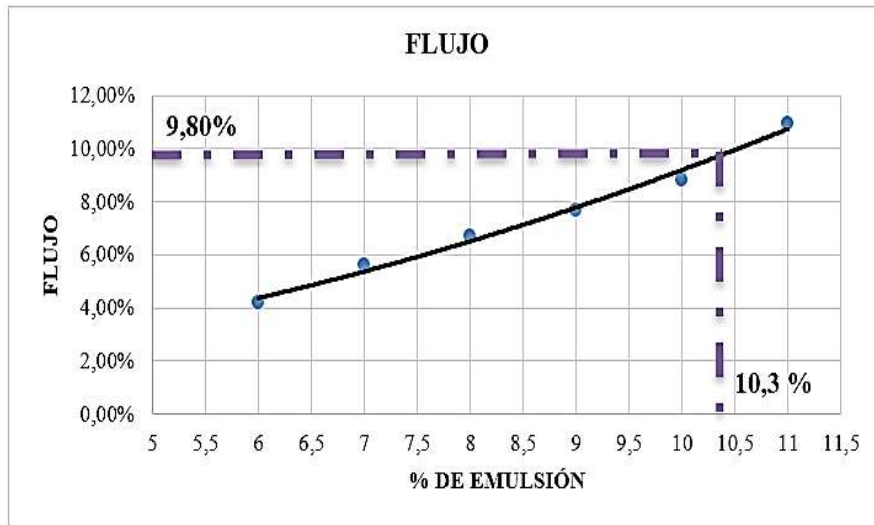
**Interpretación:** En la figura 3.12 se puede observar una curva polinómica de forma ascendente hasta alcanzar su punto más alto de 5300 lb y volver a descender, donde indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, mayor es su estabilidad. Una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.3% se obtuvo una estabilidad de 4900 lb, siendo este valor mayor al establecido en la tabla 3.6.



**Figura 3. 13** Curva, Peso específico “Bulk” Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

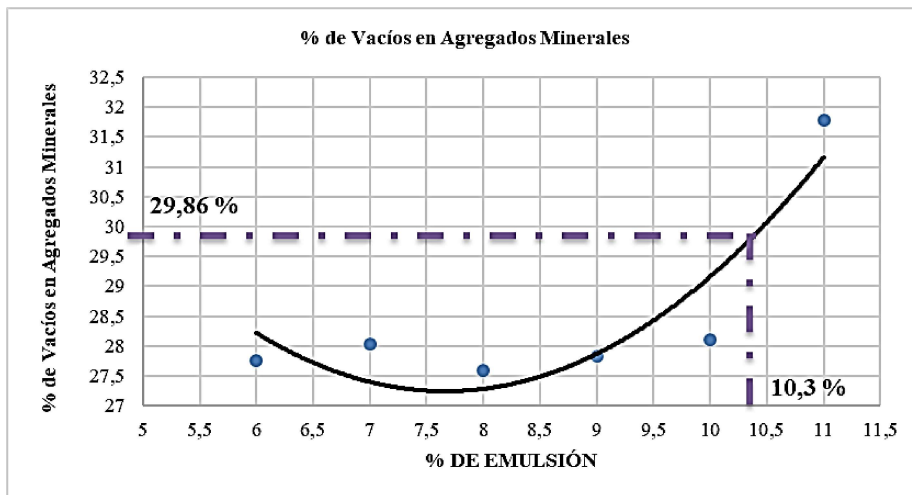
**Interpretación:** En la figura 3.13 se puede observar una curva polinómica de forma ascendente-descendente, donde indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, mayor es el peso específico Bulk, siendo su valor máximo de 2.08 con el cual comienza a descender. Una vez encontrado en porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.3% se obtuvo un peso específico Bulk de 2.080.



**Figura 3. 14** Curva, Flujo Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.14 se puede observar una curva polinómica de forma ascendente, donde indica que, a mayor porcentaje de emulsión asfáltica, mayor es su deformación. Una vez encontrado el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 10.3% se obtuvo una deformación de 9.80%, dicho valor está entre los límites establecido en la tabla 3.5.

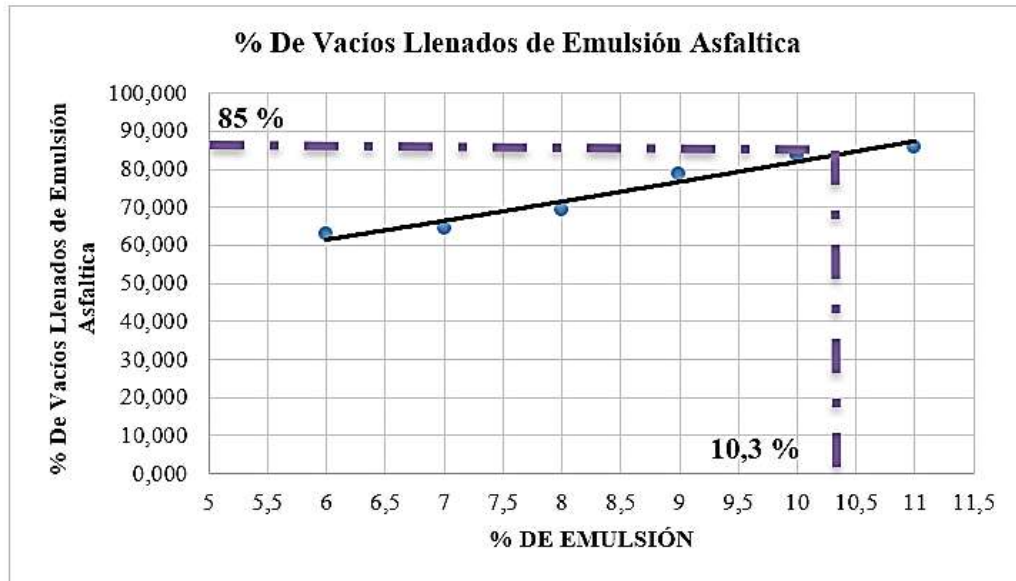


**Figura 3. 15** Curva, Vacío en agregados minerales Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor



**Interpretación:** En la figura 3.15 se puede observar una curva polinómica de forma descendente hasta un nivel mínimo de 27,250 de V.M.A, a partir de ese punto inicia su ascenso en relación al aumento del porcentaje de emulsión asfáltica. Para el porcentaje de emulsión asfáltica óptimo encontrado de 10.3 % se obtuvo un porcentaje de vacíos en agregados minerales de 30,700%





**Figura 3. 16** Curva, % vacíos llenados de Emulsión Asfáltica Vs % de Emulsión asfáltica

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** La figura 3.16 indica que, si se aumenta el porcentaje de emulsión asfáltica también aumenta el porcentaje de vacío llenados de emulsión asfáltica. Para el porcentaje de emulsión asfáltica óptimo encontrado de 10.3% se obtuvo un porcentaje de vacíos llenados con emulsión asfáltica de 85 % aproximadamente.

### 3.1.2.3 Porcentajes óptimos de emulsión asfáltica obtenidos con mezclas asfálticas de agregados reciclados y no reciclados.

**Tabla 3. 8** Resultados obtenidos mediante las figuras del ensayo Marshall.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>Denominación</b>	<b>Valores Mezcla con agregados reciclados</b>	<b>Valores Mezcla con agregados no reciclados</b>
Porcentaje de vacíos	5	5
Porcentaje óptimo	10.5%	10.3%
Estabilidad (lb)	5440	4900
Peso específico "Bulk"	2.025	2.080
Flujo (Pulg. /100)	8.45	9.80
% de Vacíos en agregados minerales	31.80	30.70
% de Vacíos llenados de emulsión asfáltica	83	85


**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Con ensayos realizados y los resultados obtenidos de tablas y figuras, se puede encontrar el diseño óptimo de la mezcla asfáltica en frío para agregados reciclados y no reciclados que se resume en la tabla 3.8. Se determinó un porcentaje de vacíos totales del 5% para los dos tipos de mezclas, estando este valor entre los límites permitidos de 3-18%, dado este valor se obtiene un porcentaje óptimo para agregados reciclados de 10.5%, mientras que para agregados no reciclados se obtiene un valor de 10.3%. Con ello se tiene una estabilidad mayor para la mezcla asfáltica en frío elaborado con agregados reciclados que para la mezcla asfáltica en frío elaborado con agregados los no reciclados.

### 3.1.2.4 Ensayo del peso específico máximo teórico (Método Rice) para mezclas asfálticas en fríos con agregados reciclados y no reciclados

Se realizó el ensayo de laboratorio “Método Rice” para dos tipos de muestras con sus respectivos porcentajes de emulsión asfáltica, la primera se ejecutó para una muestra de agregados reciclados con un porcentaje de emulsión del 10.5%, y la segunda para una mezcla con agregados no reciclados elaborados con distintos porcentajes de emulsión tales como 6%, 7%, 8%, 9%, 10% y 11%, donde se determinó el peso específico máximo teórico de las mezclas, teniendo como resultado los siguientes datos que se mostrará en las tablas 3.9 y tabla 3.10.

**Tabla 3. 9** Datos obtenidos en el Método Rice para agregados reciclados

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 	
<b>Determinación Rice Gmm</b>	
Porcentaje de asfalto	<b>10.5%</b>
D. Peso frasco+agua a 25°C	7406,5
Peso frasco	2907,4
Peso muestra + frasco	4009,6
A. Peso muestra	1102,2
E. Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7993,5
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,139</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 3. 10** Datos obtenidos en el Método Rice para agregados no reciclados


 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Determinación Rice Gmm</b>						
Porcentaje de asfalto	6%	7%	8%	9%	10%	11%
D. Peso frasco+ agua a 25°C	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5	7406,5
Peso frasco	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4	2907,4
Peso muestra + frasco	3955,1	3980,6	3908,2	3916	3964,1	3994,4
A. Peso muestra	1047,7	1073,2	1000,8	1008,6	1056,7	1087
E. Peso muestra +frasco+agua a 25°C	7993,5	8009,4	7968,7	7964,3	7987,7	7983,3
<b>Gmm = A/A-(E-D)</b>	<b>2,274</b>	<b>2,282</b>	<b>2,282</b>	<b>2,237</b>	<b>2,222</b>	<b>2,131</b>

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Los resultados obtenidos en la tabla 3.09 y tabla 3.10 tanto para mezclas asfálticas con agregados reciclados y no reciclados corresponde a la gravedad específica máxima teórica, con los resultados obtenido se establece que, a mayor contenido de emulsión asfáltica menor es el valor de la gravedad específica teórica máxima. Los valores obtenidos son indispensables para la elaboración de la tabla Marshall con el cual se calcula el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica y con ello encontrar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla.

### 1.1.3.7 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados gruesos.

**Tabla 3. 11** Gravedad específica del agregado grueso



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL RIPIO</b>	
Muestra	1
Canastilla + suelo S.S.S (Aire)	4951,90
Peso canastilla aire	1175,80
Peso del suelo S.S.S (Aire) B	3776,10
Canastilla + suelo S.S.S (Agua)	3223,00
Peso de la canastilla sumergida	1041,00
Peso suelo S.S.S (Agua) C	2182,00
Peso del recipiente + suelo seco	3770,50
Peso del recipiente	272,00
Peso del suelo seco A	3498,50
Temperatura del agua más suelo en C	25,00
Factor de corrección por temperatura K	0,999
Densidad aparente de los sólidos $D=A * K / (B-C)$	2,19
Gravedad específica $G_s=A * K / (A-C)$	2,655

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Como se puede observar en la tabla 3.11 se terminó una gravedad específica del agregado grueso dando un valor de 2.655 gr/cm<sup>3</sup>, dicho valor se encuentra dentro de los límites establecidos de 2.48 - 2.80 gr/cm<sup>3</sup>. El valor obtenido es muy importante para realizar el análisis de resultados del ensayo Marshall.

### 1.1.3.8 Densidad relativa (gravedad específica) de los agregados finos.

**Tabla 3. 12** Gravedad específica del agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO</b>	
Numero de muestra	1
Picnómetro Número	1,00
Recipiente Número	1,00
peso del recipiente + suelo seco	157,30
peso del recipiente	115,30
peso del suelo seco (Ws)	49,20
Picnómetro + agua (Wbw)	649,90
Ws + Wbw	699,10
Picnómetro + agua + suelo (Wbws)	678,50
Desplazamiento del agua (Ws + Wbw - Wbws)	17,20
Factor de corrección por temperatura K	0,999
Temperatura	25,00
<b>Gravedad específica <math>G_s = A * K / (A - C)</math></b>	<b>2,820</b>

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Como se puede observar en la tabla 3. 12 se terminó una gravedad específica de los agregados finos dando un valor de 2.82 gr/cm<sup>3</sup>, dicho valor se encuentra fuera de los límites establecidos de 2.48 - 2.80 gr/cm<sup>3</sup>, por lo que no se optó utilizar dicho valor, sino que, se utilizó la gravedad específica del agregado grueso

### 3.1.3 Fabricación de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados. MOP-001-F-2002

Para la fabricación de los adoquines con mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados y agregados no reciclados de distintas alturas o espesores tales como 6cm, 7cm y 8cm, se realizó una relación de volumen y masa de las probetas realizadas en el ensayo Marshall, de esta manera, calcular el volumen (cm<sup>3</sup>) y la masa necesaria (gr) para la realización de los adoquines de distintos espesores, cada espesor de adoquín tendrá su propia masa. Las cantidades necesaria para cada espesor de adoquín se detalla en las tablas 3.11 y tabla 3.12.

Para la fabricación de los adoquines con agregados reciclados y no reciclados se realizó un diseño para una granulometría de 1/2, donde los agregados deben ser tamizados y cumplir con la granulometría establecida.

**Tabla 3. 13** Cantidades necesarias para la elaboración de adoquines con agregado reciclados.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>CANTIDADES NECESARIAS PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES CON AGREGADOS RECICLADOS</b>									
Altura	% Emulsión asfáltica	Cantidad para 1 adoquín				Cantidad para 5 adoquín			
		Agreg. Recicla.	Cemento	Emulsión asfáltica	Total	Agreg. Recicl.	Cemento	Emulsión asfáltica	Total
(cm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
6	10,5	2047,1	209,2	264,7	2521	10235,5	1046	1323,5	12605
7	10,5	2388,2	244,1	308,8	2941,1	11941	1220,5	1544	14705,5
8	10,5	2729,3	279	352,9	3361,2	13646,5	1395	1764,5	16806

**Fuente:** Autor

**Tabla 3. 14** Cantidades necesarias para la elaboración de adoquines con agregado no reciclados.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>CANTIDADES NECESARIAS PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES CON NOAGREGADOS RECICLADOS</b>									
Altura	% Emulsión asfáltica	Cantidad para 1 adoquín				Cantidad para 5 adoquín			
		Agreg. Fino + grueso	Cemento	Emulsión asfáltica	Total	Agreg. Fino + grueso	Cemento	Emulsión asfáltica	Total
(cm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
6	10,3	2103	158,29	259,7	2521	10515	791,45	1298,5	12605
7	10,3	2453,5	184,67	302,9	2941	12267,5	923,35	1514,5	14705
8	10,3	2803,94	211,05	346,2	3361	14019,7	1055,25	1731	16806

**Fuente:** Autor

Para la fabricación de los adoquines de hormigón simple se tomó en cuenta una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. En el anexo se encuentra la dosificación necesaria para cumplir dicha resistencia.

### 3.1.4 Ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados.

Se realizó la prueba de laboratorio “Ensayo de Resistencia a la Compresión”, para un total de cuarenta y cinco muestras de adoquines, quince adoquines elaborados de mezclas asfálticas con agregados no reciclados, quince adoquines elaborados de mezclas asfálticas con agregados reciclados, y 15 adoquines elaborados de hormigón simple diseñados para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, mediante el cual se obtuvo los siguientes datos que se mostrará en la tabla 3.15, tabla 3.16 y tabla 3.17

**Tabla 3. 15** Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con agregados no reciclados



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>NORMA INEN 1485</b>			
<b>Nombres</b>	<b>Max. Fuerza</b>	<b>Max. Tensión</b>	<b>Max. Deformación</b>
<b>Unidad</b>	<b>KN</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>%</b>
NO RECL.6	79,2328	33,9204	5,93
NO RECL.6	78,7029	37,4776	6,96
NO RECL.6	82,1841	39,1353	8,36
NO RECL.6	73,3175	34,9131	7,82
NO RECL.6	89,9909	42,8528	8,03
<b>Promedio</b>	<b>80,6856</b>	<b>37,6598</b>	<b>7,420</b>
NO RECL.7	78,5462	37,403	4,59
NO RECL.7	78,5755	37,4169	4,65
NO RECL.7	53,6642	25,5544	3,86
NO RECL.7	65,5769	31,2271	5,56
NO RECL.7	58,2008	27,7147	2,44
<b>Promedio</b>	<b>66,91272</b>	<b>31,86322</b>	<b>4,22</b>
NO RECL.8	41,9769	19,9889	2,23
NO RECL.8	57,3151	27,2358	3,77
NO RECL.8	41,2477	19,6857	2,45
NO RECL.8	49,2358	25,2354	3,65
NO RECL.8	50,3125	26,2328	2,36
<b>Promedio</b>	<b>48,0176</b>	<b>23,67572</b>	<b>2,892</b>

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Como se observa en la tabla 3.15 se tiene 15 adoquines fabricados con mezclas asfálticas en frío utilizando agregados no reciclados para diferentes espesores tales como 6 cm, 7cm, 8cm. Se establece para los adoquines con espesor de 6 cm una resistencia a la compresión promedio de 37.66 kg/cm<sup>2</sup>, para los adoquines de 7cm de espesor se tiene una resistencia de 33.85 kg/cm<sup>2</sup> y por último para los adoquines de 8cm de espesor posee una resistencia promedio de 23.67 kg/cm<sup>2</sup>. Analizando los resultados obtenidos se puede evaluar que, a menor espesor de los adoquines, mayor es su resistencia a la compresión.

También es necesario recalcar que en este tipo de adoquines existe una variación mayor en la resistencia, pero su diferencia es mínima en comparación a los adoquines fabricados con agregados no reciclados.

**Tabla 3. 16** Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con agregados reciclados



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>NORMA INEN 1485</b>			
<b>Nombres</b>	<b>Max. Fuerza</b>	<b>Max. Tensión</b>	<b>Max. Deformación</b>
<b>Unidad</b>	<b>KN</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>%</b>
RECL.6	87,234	41,540	12,048
RECL.6	87,360	41,699	12,874
RECL.6	72,163	34,363	11,119
RECL.6	78,064	37,354	10,603
RECL.6	82,521	39,266	8,253
<b>Promedio</b>	<b>81,468</b>	<b>38,844</b>	<b>10,979</b>
RECL.7	72,750	34,643	9,810
RECL.7	63,536	30,255	9,166
RECL.7	65,781	31,324	11,127
RECL.7	66,650	31,738	9,116
RECL.7	75,355	35,427	9,956
<b>Promedio</b>	<b>70,037</b>	<b>33,361</b>	<b>9,835</b>
RECL.8	55,989	26,662	5,000
RECL.8	64,914	30,911	4,900
RECL.8	60,835	28,969	4,920
RECL.8	70,602	33,620	5,120
RECL.8	71,457	31,931	5,861
<b>Promedio</b>	<b>64,759</b>	<b>30,419</b>	<b>5,160</b>

**Fuente:** Autor



**Interpretación:** Como se observa en la tabla 3.16 se tiene 15 adoquines fabricados con mezclas asfálticas en frío utilizando agregados reciclados para diferentes espesores tales como 6 cm, 7cm, 8cm, donde se establece que para los adoquines con espesor de 6 cm poseen una resistencia a la compresión promedio de 38.84 kg/cm<sup>2</sup>, para los adoquines de 7cm de espesor se tiene una resistencia de 33,36 kg/cm<sup>2</sup> y por último para los adoquines de 8cm de espesor poseen una resistencia promedio de 30.42 kg/cm<sup>2</sup>.

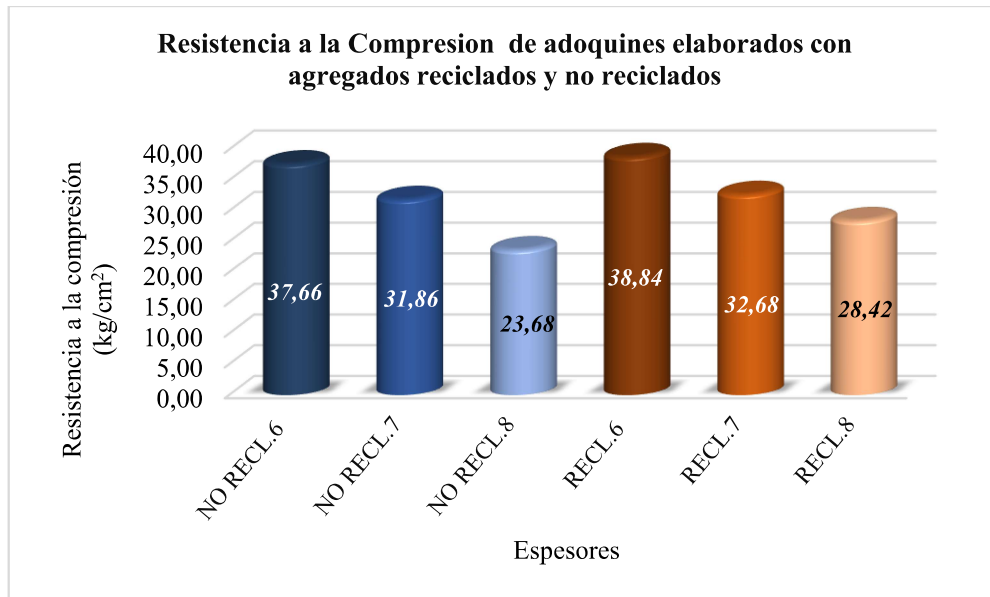
**Tabla 3. 17** Ensayo de resistencia a la compresión de adoquines elaborados con hormigón simple de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

 <b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b> 				
<b>NORMA INEN 1485</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Max. Fuerza</b>	<b>Max. Tensión</b>		<b>Max. Deformación</b>
<b>Unidad</b>	<b>kN</b>	<b>MPa</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Adoquín H. 6	473,003	22,224	222,24	10,6111
Adoquín H. 6	452,255	22,561	225,61	8,5698
Adoquín H. 6	596,882	21,423	214,23	9,6044
Adoquín H. 6	494,465	21,946	219,46	10,9564
Adoquín H. 6	450,722	21,463	214,63	8,2526
<b>Promedio</b>	<b>493,466</b>	<b>21,923</b>	<b>219,234</b>	<b>9,599</b>
Adoquín H. 7	390,341	18,5876	185,876	10,2202
Adoquín H. 7	390,341	18,5876	185,876	10,2202
Adoquín H. 7	421,539	20,0733	200,733	10,6905
Adoquín H. 7	443,903	21,1382	211,382	8,2373
Adoquín H. 7	454,935	21,6636	216,636	7,3204
<b>Promedio</b>	<b>420,212</b>	<b>20,010</b>	<b>200,101</b>	<b>9,338</b>
Adoquín H. 8	412,969	19,6652	196,652	6,1953
Adoquín H. 8	422,914	20,1388	201,388	6,3086
Adoquín H. 8	417,866	19,8984	198,984	5,9178
Adoquín H. 8	396,410	18,8767	188,767	6,6422
Adoquín H. 8	437,209	20,8195	208,195	7,5218
<b>Promedio</b>	<b>417,340</b>	<b>19,873</b>	<b>198,733</b>	<b>6,511</b>

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Como se observa en la tabla 3.17 se tiene 15 adoquines fabricados con hormigón simple, diseñados para una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Los mismo tienen diferentes espesores tales como 6 cm, 7cm, 8cm. Al realizar los ensayos de compresión se establece que para los adoquines con espesor de 6 cm poseen una resistencia a la compresión promedio de 219.23 kg/cm<sup>2</sup>, para los adoquines de 7cm de espesor se tiene una resistencia de 200.10 kg/cm<sup>2</sup> y por último para los adoquines de 8cm de espesor poseen una resistencia promedio de 198.73 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.1.5 Correlación de la resistencia a la compresión entre los tipos de los adoquines diseñados y los adoquines de hormigón simple.



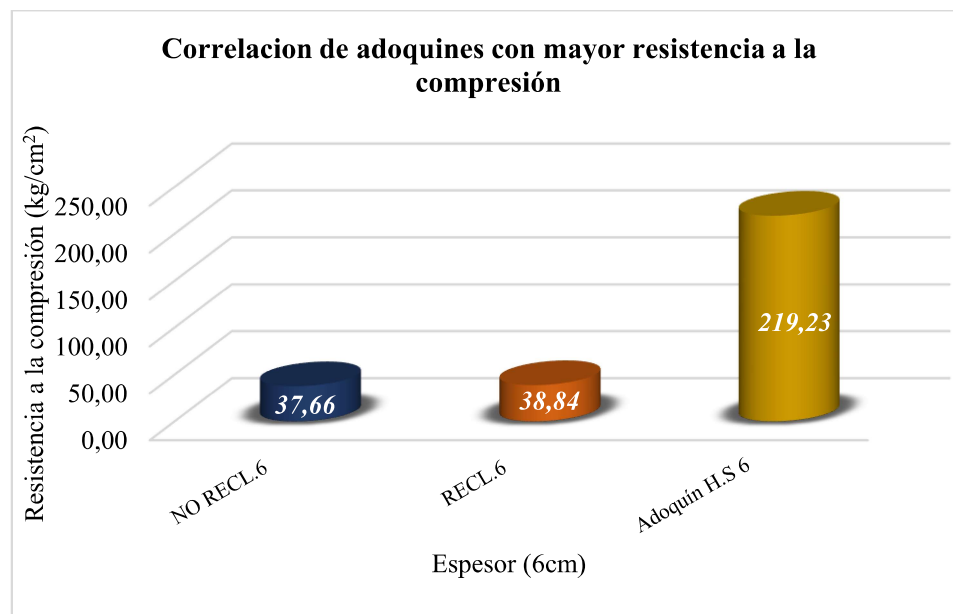
**Figura 3. 17** Correlación de adoquines elaborados con agregados reciclados y no reciclados

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.17 se puede determinar 6 diferentes resultados, 3 corresponden a los adoquines elaborados con agregados no reciclados y 3 corresponden a los adoquines elaborados con agregados reciclados; donde se observa que el adoquín que posee mayor resistencia a la compresión es el adoquín elaborado con agregados reciclados dando un valor de 38.84 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el adoquín

elaborado con agregados no reciclados tiene un valor de 37.66 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe recalcar que la variación de las resistencias es mínima entre los dos tipos de adoquines

Analizando los resultados obtenidos en la figura 3.15, se puede correlacionar la variable espesor entre los 6 tipos de adoquines, determinando que, a menor espesor de los adoquines, mayor es su resistencia a la compresión, independiente del tipo de material usado para su fabricación.



**Figura 3. 18** Correlación de adoquines elaborados con agregados reciclados y no reciclados que poseen mayor resistencia a la compresión

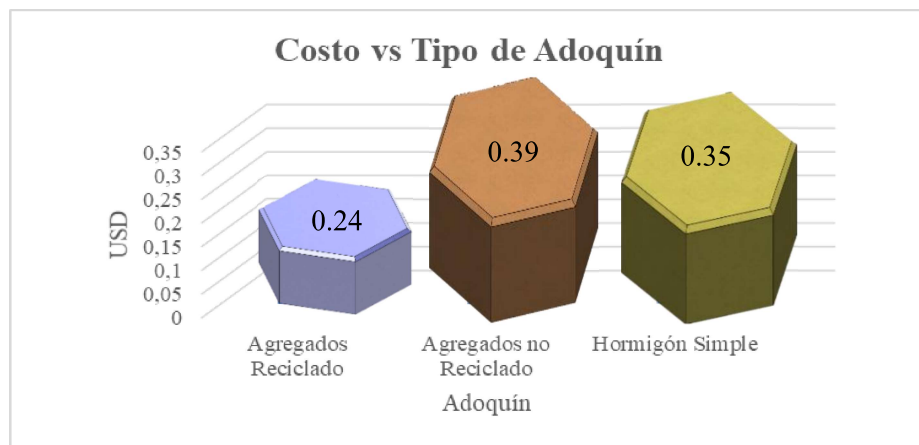
**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Como se observa en la figura 3.18, los adoquines que poseen mayor resistencia a la compresión son los adoquines de 6cm de espesor como se menciona anteriormente. Los adoquines elaborados con agregados no reciclados poseen una resistencia promedio de 37.66 kg/cm<sup>2</sup>, los adoquines elaborados con agregados reciclados RAP poseen una resistencia promedio de 38.84 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que, los adoquines elaborados de hormigón simple tienen una resistencia promedio de 219.23 kg/cm<sup>2</sup>.

Cabe recalcar que los adoquines elaborados con hormigón simple poseen una resistencia mayor debido a que este tipo de adoquines fueron diseñados para una resistencia ya establecida por el autor, mientras que, los adoquines elaborados de mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados y no reciclados fueron previamente ensayados por el método Marshall para determinar su estabilidad siendo los resultados obtenidos mayores a los establecidos por la norma MOP-001-F-2002 ( 2200 lb), siendo el producto factible para vías de alto tráfico vehicular.

Tomando en cuenta que, el adoquín de 6 cm posee mayor resistencia y una vez evaluado las resistencias obtenidas entre los dos tipos de mezclas asfálticas, se considera la utilización de adoquines fabricados con agregados reciclados de 6 cm de altura. Los mismos serán aplicados a vías de tráfico liviano.

### 3.1.6 Análisis de costos de pavimentos articulados de adoquines con mezcla asfáltica en frío y adoquines de hormigón simple.



**Figura 3. 19** Costo Vs Tipos de Adoquines de mayor resistencia (6 cm espesor)

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** En la figura 3.19 del costo vs tipo de adoquín se puede observar una diferencia significativa en el adoquín de agregado reciclado con respecto al agregado no reciclado con el 62.5 % menos en el valor final, encambio con el de hormigón simple tiene un diferencia del 45.8 % siendo mucho menor en el costo final. Entonces se puede decir

que, el adoquin elaborado con agregados reciclados es mas económico con respecto a los otros.



Para la implementación de los adoquines elaborados con agregados reciclados se debe realizar un análisis de costos para un pavimento articulado, para lo cual se realizar un análisis para una vía de 100 m de longitud y 6 m de ancho.

**Tabla 3. 18** Presupuesto referencia para un adoquinado de 600 m<sup>2</sup> utilizando adoquines elaborados con agregados reciclado

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	m2	600	1,29	771,09
3	Sub base (conformación y compactación con equipo pesado)	m3	90	22,06	1985,11
5	Adoquin con agregados reciclados (incl. Cama de arena e=3 y emporado)	m2	600	16,87	10121,71
6	Bermas de hormigón simple 15x30 cm f'c=180kg/cm2	ml	30	7,51	225,35
<b>TOTAL</b>					<b>13342,37</b>

**Fuente:** Autor

**Tabla 3. 19** Presupuesto referencia para un adoquinado de 600 m<sup>2</sup> utilizando adoquines convencionales

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
RUBRO NÚMERO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Replanteo y Nivelación	m	100	2,39	239,1
2	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m2	600	1,29	771,1
3	Sub base (conformación y compactación con equipo pesado)	m3	90	22,06	1985,1
5	Adoquín convencional (incl. Cama de arena e=3 y emporado con cemento y arena fina)	m2	600	22,14	13281,5
6	Bermas de hormigón simple 15x30 cm f'c=180kg/cm2	ml	30	7,51	225,3
<b>TOTAL</b>					<b>16502,1</b>

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Mediante el presupuesto referencial realizado para la vía determinada utilizando adoquines de mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados y de igual forma se realiza el mismo presupuesto para la vía analizada, en este caso, utilizando adoquines de hormigón simple, se puede observar en la tabla 3.18 y tabla 3.19, que el total para el adoquinados de la vía determinas utilizando adoquines de mezclas asfálticas en frio con agregados reciclados es de 13342.37 dólares, mientras que, al utilizar un adoquín convencional tiene un valor de 16502.1 dólares, existe una gran diferencia de precios de un 20 % más económico que al utilizar adoquines de hormigón simple

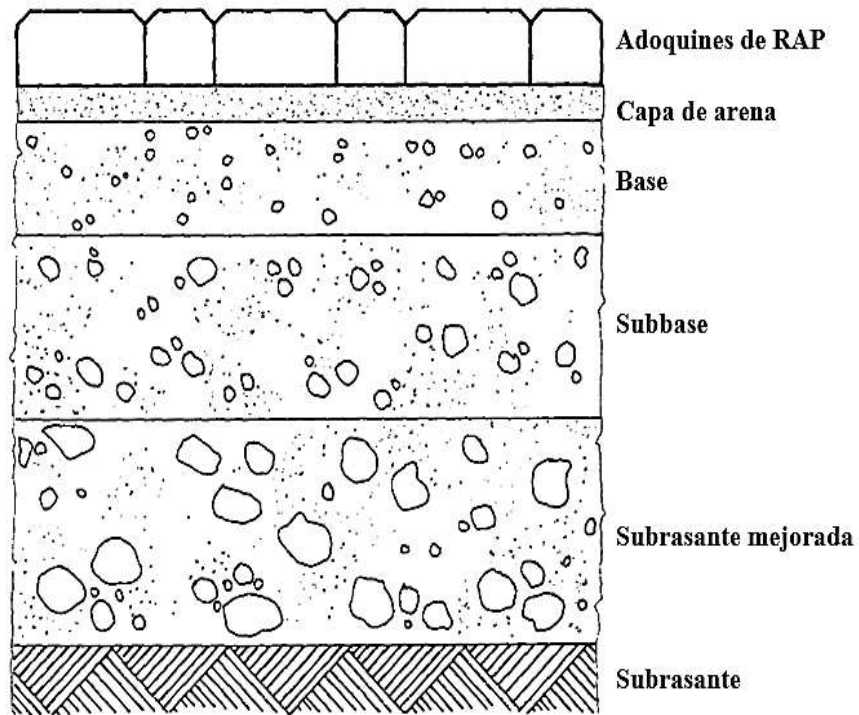
### **3.1.7 Diseño de un pavimento articulado de adoquines con mezclas asfálticas en frío.**

Los adoquines ofrecen soluciones interesantes a los problemas viales, ya que, por ser un elemento fabricado, su calidad se controla en la misma planta de donde procede; su colocación no requiere de ningún equipo especial y su conservación es muy económica.

Para el diseño de un pavimento articulado se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos.

#### **Elementos del pavimento**

Para determinar los elementos que conformaran el pavimento articulado se lo determinara mediante el flujograma (figura 3.21), para la selección de los elementos se tomó como referencia un CBR del 19 %. Siendo un valor típico de la ciudad de Ambato.



**Figura 3. 20** Estructura típica de un pavimento de adoquines [12].

**Tabla 3. 20** Elementos del Pavimento Articulado

Descripción	Espesor
<b>Adoquín</b>	60-80mm
<b>Capa de Arena</b>	30-50 mm
<b>Base</b>	Depende el tráfico
<b>Subbase</b>	150-225mm
<b>Subrasante Mejorada</b>	Depende del porcentaje del CBR
<b>Subrasante</b>	Superficie natural

**Fuente:** Autor

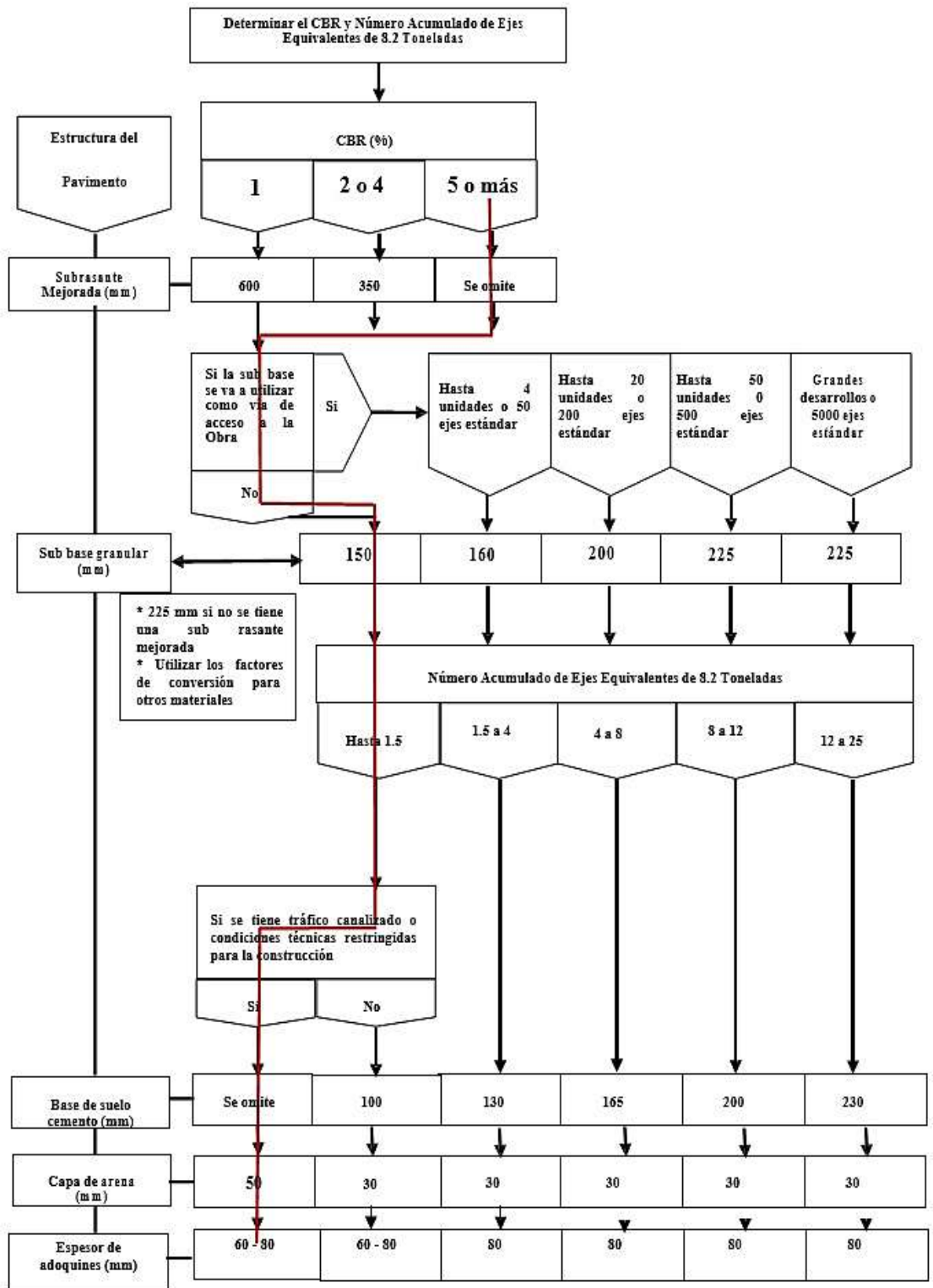


Figura 3. 21 Procedimiento de diseño de un pavimento para vías [12].



**Tabla 3. 21** Espesores de capas para pavimento articulado

Elementos necesarios para pavimento articulado	Espesor (mm)
Subrasante mejorada	No
Subbase	150
Base	no
Cama de arena	50
Adoquín elaborado con mezcla asfáltica en frío	60

**Fuente:** Autor

**Interpretación:** Para la colocación de los adoquines en una vía determinada se realizó un análisis de los elementos que conforman el diseño de un pavimento articulado. En primer lugar, es necesario determinar el CBR de la subrasante, que para este caso se tomara un dato referencial de 19 % del CBR, para lo cual se determina que no es necesario colocar la capa subrasante mejorada, también se coloca una capa subbase de 150 mm de espesor, una cama de arena de 50 mm de espesor y por último se coloca el adoquín elaborado con mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados de 60 mm de espesor.

### 3.2 Verificación de la hipótesis

Una vez concluido con los ensayos a los materiales, probetas y el producto final (adoquines), seguidamente examinados minuciosamente los resultados obtenidos, se puede comprobar que, el diseño de adoquines con mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados tiene mayor estabilidad (5250 lb) con respecto a los adoquines realizados con agregados no reciclados (4965 lb) y su costo será menor (0.24 USD) con respecto a un adoquín convencional (0.35 USD). Sin embargo, al evaluar la resistencia a la compresión de los adoquines se destinarán para la utilización en vías de bajo tráfico.

## CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para mezclas asfálticas con agregados recicladas es del 10.5 %, y para mezclas asfálticas con agregados no reciclados es del 10.3%.
- La diferencia entre los dos porcentajes es mínima, lo cual puede deberse a que los agregados reciclados no absorben en gran cantidad la emulsión asfáltica y se comportan como si fueran agregados nuevos, esto nos indica que los agregados reciclados no tienen una buena absorción de emulsión asfáltica.
- Para los dos tipos de mezclas asfálticas en frío se consideró un porcentaje de vacíos del 5%, dicho valor está entre los límites admisibles 3 – 18 % del porcentaje de vacíos para mezclas con emulsión asfáltica.
- El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica será necesario para ligar todas las partículas de agregados, y de esta forma, cumplir con la estabilidad señalada por la norma MOP 001-F-2002.
- Mediante el análisis granulométrico realizado a las muestras de agregados reciclados se puede establecer que se realizó un diseño con una granulometría con tamaño máximo de agregado de  $\frac{1}{2}$ ", que corresponde a las curvas granulométricas que más se ajustaron, dicha granulometría también será empleada para las mezclas asfálticas con agregados no reciclados.
- Con la realización del ensayo Marshall se puede determinar que para las mezclas asfálticas con agregados reciclados posee una mayor estabilidad promedio de 5250 lb, mientras que, para las mezclas asfálticas con agregados no reciclados tiene una estabilidad menor de 4965 lb; esto se debe a que la cantidad de asfalto en los agregados reciclados contribuyan a un mejor confinamiento en la mezcla asfáltica en frío. Las estabilidades obtenidas mediante el ensayo son mayores a las establecidas por la norma (MOP 001 F 2002).

- El área de trabajo del adoquín se escogió una geometría hexagonal de lados y ángulos iguales. Esta forma se eligió para obtener una mejor compactación de la mezcla asfáltica en las diferentes aristas. Además, permite su fácil colocación en obra permitiendo que todos los adoquines tengan una mejor acomodo y confinamiento de los adoquines que serán colocados en obra.
- Se elaboró adoquines con la forma geométrica descrita anteriormente de distintos espesores como: 6 cm, 7 cm y 8 cm, con la finalidad de determinar diferentes resistencias y optar por la resistencia más alta.
- Se determinó la resistencia de 30 ejemplares, 15 adoquines con agregados reciclados y 15 adoquines con agregados no reciclados para tres espesores descritos anteriormente. De estos, el que mayor resistencia obtuvo fue el adoquín de 6 cm de espesor para los dos tipos de mezclas, entonces se puede concluir que para los dos tipos de muestras conforme aumenta el espesor, menor es su resistencia.
- Para el diseño del pavimento articulado se escogió trabajar con un CBR del 19 % para suelos granulares característico del cantón Ambato, analizando los elementos de un pavimento articulado se determinó que se colocará una capa sub-base de 150 mm, una cama de arena de 50 mm de espesor y finalmente se coloca el adoquín elaborado con mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados de 60 mm de espesor.
- En el análisis de precios unitarios se encontró que, los adoquines con agregados reciclados tienen un precio final de USD 0.24, en cambio, para el ejemplar elaborado con agregados no reciclado tiene un precio final de USD 0.39, mientras que, para los adoquines de hormigón simple tiene un valor de USD 0,35. Concluyendo que los adoquines con agregados reciclados son más económicos lo cual afirma la hipótesis de trabajo.
- De esta manera se puede concluir que, el adoquín elaborado con agregados reciclado es accesible y factible para adoquinado en vías de liviano a bajo tráfico vehicular

debido a su bajo costo, además, su colocación no requiere de ningún equipo especial y su conservación es muy económica,

- El presupuesto referencial para un adoquinado 600 m<sup>2</sup> utilizando adoquines de agregados reciclados es de 13342.37 dólares vs un adoquinado de hormigón simple 16502.1 dólares, representando un ahorro del 20 %. Concluyendo que el porcentaje de disminución es de 0.033% por metro cuadrado.
- La resistencia de los adoquines de hormigón simple con la misma forma geométrica y espesor es de 216 kg/cm<sup>2</sup>. Este valor no es un parámetro de comparación con los adoquines de mezclas asfálticas debido a que son materiales de propiedades totalmente diferentes casi en su totalidad.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Utilizar la emulsión asfáltica que cumpla con todas las especificaciones técnicas, en este caso, se utilizó una emulsión catiónica CSS -1H de curado lento que se utilizó como ligante asfáltico de agregado.
- Desmoldar las probetas y adoquines a las 24 horas y dejar secar 48 horas más para posteriormente ser ensayadas. De acuerdo con investigaciones previas y una experiencia propia.
- Realizar adoquines que tengan geometrías adecuadas para que la compactación sea de manera uniforme en toda el área y de esta forma evitar disgregaciones de las probetas y los adoquines.
- Utilizar estos tipos de adoquines en Gobiernos Autónomos de bajos recursos por su bajo costo, buena calidad y por su buena resistencia.
- Adquirir el martillo compactador mecánico con el fin de optimizar el trabajo y alcanzar un mayor número de ejemplares por día.

- Adaptar al martillo compactador una base del diseño geométrico del adoquín para tener una compactación más uniforme con el peso especificado en la norma.
- Realizar un estudio de CBR de la vía donde se va a realizar el adoquinado para verificar si es necesario o no la colocación de una capa de subrasante mejorada.
- Se recomienda hacer un estudio del TPDA para realizar un diseño adecuado de los elementos que componen un pavimento articulado con adoquines elaborados de mezclas asfálticas en frío con agregados reciclados.

## MATERIAL DE REFERENCIA

### Bibliografía

- [1] A. Copeland, *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*, no. FHWA. 2011.
- [2] C. Marín, “Pavimentos Articulados de Bloques Asfálticos con RAP y Análisis Estructural a Través de un Modelo Físico Experimental,” p. 231, 2016.
- [3] V. F. Armijos Cuenca, “Estudio del diseño estructural y constructivo de pavimentos articulados en base a bloques de asfalto.,” Proyecto de fin de maestría, Pontificie Universidad Católica de Chile, Chile, 2011.
- [4] C. Marín, G. Thenoux, D. Saldaña, and R. Lucero, “Pavimentos de Bloques Asfálticos para Vías de Bajo Volumen de Tránsito,” vol. 1, no. 2014, p. 12, 2015.
- [5] A. Vargas-Nordcbeck and D. H. Timm, “Rutting characterization of warm mix asphalt and high RAP mixtures,” *Asph. Paving Technol. Assoc. Asph. Paving Technol. Tech. Sess.*, vol. 81, no. August 2013, pp. 51–78, 2012.
- [6] I. Rodríguez-Fernández, P. Lastra-González, I. Indacoechea-Vega, and D. Castro-Fresno, “Recyclability potential of asphalt mixes containing reclaimed asphalt pavement and industrial by-products,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 195, pp. 148–155, 2019.
- [7] R. L. Carvalho, H. Shirazi, M. Ayres, and O. Selezneva, “Performance of Recycled Hot-Mix Asphalt Overlays in Rehabilitation of Flexible Pavements,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2155, no. 1, pp. 55–62, Jan. 2010.
- [8] C. Marín, G. Thenoux, D. Saldaña, and R. Lucero, “Pavimentos De Bloques Asfálticos Para Vías De Bajo Volumen De Tránsito,” vol. 1, no. 2014, p. 12, 2015.
- [9] N. Tran, R. West, A. Taylor, and R. Willis, “Evaluation of moderate and high RAP mixtures at laboratory and pavement scales,” *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 18, no. 9, pp. 851–858, 2017.
- [10] H. A. Rondón Quintana and F. A. Reyes Lizcano, *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*, 1ra Edició. Bogotá, 2015.

- [11] G. Nicholas and L. Hoel, *Ingeniería de tránsito y carreteras*, 3a. ed. México, 2002.
- [12] A. Montejo, *Ingeniería de pavimentos fundamentos, estudios básicos y diseño*, Tercera Ed. Bogotá, 2008.
- [13] H. A. Rondón, Quintana, *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*, Ecoe Edici. 2015.
- [14] E. Recuenco Aguado, *Firmes y Pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*, 1era ed. España, 2014.
- [15] R. León and A. Lozano, *Tecnología del Cemento Asfáltico*, Cuarta Edi. Cali-Colombia, 2005.
- [16] M. Valenzuela, “El asfalto, en la conservación de pavimentos,” Proyecto de fin de grado, Universidad Austral de Chile, Chile, 2003.
- [17] G. Jose and S. Arce, “Influencia de la contaminación salina en el envejecimiento prematuro de mezclas y tratamientos asfálticos,” Proyecto de fin de grado, Universidad de Chile, Chile, 2007.
- [18] D. Vega, “Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico,” Trabajo de fin de grado, Univeridad Tecnica de Ambato, Ambato , 2016.
- [19] P. Garnica Anguas, M. Flores Flores, J. A. Gómez López, and H. Delgado Alamilla, “Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas,” Sanfandila, 2005.
- [20] F. Andres and W. Rodriguez, “Análisis de Pavimento Asfáltico Modificado con Polímero”,” Trabajo de fin de grado, Universidad Austral de Chile, Chile, 2008.
- [21] Mop-001-F 2002, “Publicas Y Comunicaciones Mop - 001-F 2002,” p. 772, 2002.
- [22] A. Instituto, “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas,” *Compos. las Emuls.*, vol. I, p. 358, 2001.
- [23] “(4) (PDF) Ruptura de emulsiones asfálticas catiónicas y no iónicas mediante la adición de arena.” [Online]. Available:

[https://www.researchgate.net/publication/277718862\\_Ruptura\\_de\\_emulsiones\\_asfalticas\\_cationicas\\_y\\_no\\_ionicas\\_mediante\\_la\\_adicion\\_de\\_arena?fbclid=IwAR1HLr3Rg4HhGZXC7-UeHw6m7i4j06vOM6YVMvh-G8zDb3ZZeNPIs4S9yus](https://www.researchgate.net/publication/277718862_Ruptura_de_emulsiones_asfalticas_cationicas_y_no_ionicas_mediante_la_adicion_de_arena?fbclid=IwAR1HLr3Rg4HhGZXC7-UeHw6m7i4j06vOM6YVMvh-G8zDb3ZZeNPIs4S9yus). [Accessed: 18-Nov-2019].

[24] (Imptek), “Emulsiones Asfálticas Catiónicas,” 2010.

[25] “Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles,” 2013.

[26] C. Kraemer, J. M. Pardillo, S. Rocci, M. Romana, V. Sánchez, and M. A. Del Val, *Ingeniería de Carreteras*, 1ra ed. Madrid, 2004.

[27] R. A. Padilla, “Mezclas asfálticas,” in *Diseño De Mezclas Asfálticas*, pp. 39–64.

[28] A. Montejo, *Ingeniería de Pavimentos. Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*, 3era, tomo ed. Bogotá, 2006.

[29] P. M. Cox Tuch, “Manual de Laboratorio para Estudiantes para el Desarrollo de Ensayos en Concreto Asfáltico en Caliente,” Trabajo de fin de grado; Universidad de San Carlos de Guatemala; Guatemala, 2019.

[30] P. A. Choconta, *Diseño Geométrico de Vías*, 3ra ed. Bogotá - Colombia: Editorial Escuela Ccolombiana de Ingeniería, 2011.

[31] “Extractor de Asfalto – Centrífuga | orionrcp.” [Online]. Available: <https://www.orionrcp.com/extractor-de-asfalto--centrifuga>. [Accessed: 25-Oct-2019].





[32] Holcim Ecuador S.A., “Holcim Fuerte Cemento Holcim Tipo GU - Soluciones Holcim,” 2018, 2015. [Online]. Available: <https://solucionesholcim.com/holcim-fuerte/>. [Accessed: 25-Oct-2019].

[33] V. Medina, “Aplicación de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío,” 2003.



**Anexos**

**Anexo 1. Ensayo granulométrico de agregados reciclados y no reciclados**

<b>Granulometría del Asfalto Reciclado</b>	
 <p>Asfalto Reciclado</p>	 <p>Tamizado Manual</p>
 <p>Tamizado del RAP</p>	 <p>Colocación del retenido del tamiz.</p>

## Anexo 2. Proceso de Extracción del Asfalto

### Extracción de Asfalto



Quema del Asfalto



Papel filtro







Máquina Centrifuga



Gasolina Extra

### Anexo 3 Ensayo Rice

Ensayo Rice	
 <p data-bbox="441 739 724 772">Contenedor de Asfalto</p>	 <p data-bbox="964 739 1341 772">Llenado de Agua</p>
 <p data-bbox="396 1192 773 1226">Máquina de Ensayo Rice</p>	 <p data-bbox="964 1192 1341 1226">Disgregación del Material</p>

## Anexo 4 Ensayo Marshall

Ensayo Marshall	
 <p>Baño María</p>	 <p>Ensayo de las Probetas</p>
 <p>Probetas por Ensayar</p>	 <p>Realización de las Probetas</p>
 <p>Ensayo de densidad de probetas</p>	 <p>Medición de espesor de probeta</p>

## Anexo 5 Elaboración de adoquines

Elaboración de Adoquines de Hormigón	
 <p>Engrasado de los moldes</p>	 <p>Fracción en peso de Grava</p>
 <p>Moldes del Adoquín</p>	 <p>Medición de la Emulsión</p>
 <p>Ensamble del Molde</p>	 <p>Agregado de Agua</p>



Preparación de la Mezcla



Lubricado del molde



Colocación de la Mezcla



Punzar 25 veces



Colocación de la Tapa



Realización de los 75 golpes



Girar el acoqín



Desmolde del adoqín

## Anexo 6 Ensayo de Adoquines

### Ensayo a compresión de los Adoquines



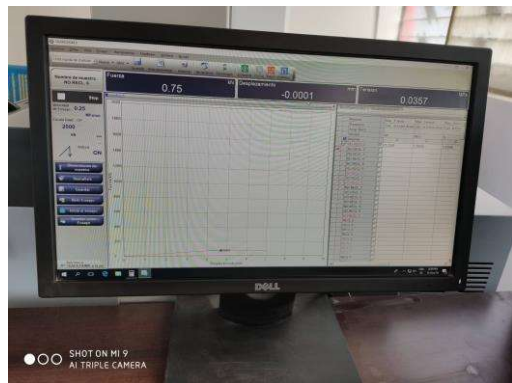
Adoquines por ensayar



Colocación del adoquín para el ensayo



Ensayo del Adoquín



Ordenador de la Máquina de Ensayo de Compresión



Adoquines Ensayados a compresión.



Máquina de Ensayos de Compresión

## Anexo 7 Especificaciones de la Emulsión

	<b>PRODUCTOS VIALES</b> ficha técnica <b>Capítulo 3,4</b>
Características: Líquido bituminoso suministrado a granel y en envases	3,4,10,1
Emulsión Asfáltica CSS-1h / FT-PAV-01 / Revisión: 01 / Fecha: 2010-04-21	



# Emulsiones Asfálticas Catiónicas

## Emulsión Asfáltica Catiónica de Curado Lento CSS-1h

Nombre Comercial: Emulsión Asfáltica Catiónica CSS – 1h

Descripción: Emulsión Asfáltica de curado lento

Uso principal: Imprimante asfáltico / Ligante-Aglutinante de agregados pétreos.  
Uso vial

Normas técnicas de referencia:  
- Ecuatoriana NTE-INEN-2062:96  
- Americana ASTM-D244

### DESCRIPCIÓN

Es una emulsión asfáltica de tipo iónica, de color negro, forma líquida, soluble en agua antes de su curado, formado por betún asfáltico, tensoactivos y agua.

### CAMPOS DE APLICACIÓN

- Se emplea como ligante asfáltico de agregados, en hormigón asfáltico en frío, tratamientos superficiales, obras de reciclado de pavimentos, etc.
- Se emplea como imprimante en obras de bacheo, nuevas capas de rodadura, estabilización de suelos.
- Se emplea como impermeabilizante en lechadas asfálticas (slurry seal), fogseal, sandseal, etc.

### CUALIDADES

- No contiene solventes
- Aplicación a temperatura ambiente
- Se disuelve en agua



### DATOS TÉCNICOS

Normas técnicas de referencia:  
 - Ecuatoriana NTE-INEN-2062:96  
 - Americana ASTM-D244

#### Emulsión asfáltica catiónica CSS-1h . Emulsión de curado lento

Propiedad	Unidad	Especificación
Densidad Relativa a 25°C	g/cm <sup>3</sup>	0.90 - 1.10
Contenido de Asfalto *	% Peso	57 - 64
Penetración en el Residuo	1/10 mm	40 - 90
Peso por Galón	kg/l	3.4 - 4.2
Contenido de Agua	% Peso	36 - 46
pH	-	1.5 - 2.5
Asentamiento en 24 h	%	0 - 1
Estabilidad en el Almacenamiento	%	Máx. 5
Prueba del Tamiz N° 20	%	Máx. 0.1
Viscosidad Saybolt-Furöl a 23°C	sSF	20 - 100
Mezcla con Cemento	%	Máx. 2.0
Carga de Partículas	-	Positiva

### DATOS BÁSICOS

#### Almacenaje

- No se debe almacenar a temperatura inferior a 5°C, ni al sol durante largo tiempo, preferible almacenar bajo sombra. Si el periodo de almacenamiento es muy largo, se recomienda agitación del producto, usando métodos que no generen espuma.
- No se deben mezclar emulsiones de diferente naturaleza

#### Presentación

- Envases.
- A granel.

#### Rendimiento

- Los consumos están siempre relacionados con la capacidad de absorción de las superficies o agregados a tratar. El rendimiento aproximado como ligante o aglutinante es de 30 a 40 galones por m<sup>2</sup>, y como imprimante, diluido 1:1 en agua, es de 0.3 a 0.4 kg/m<sup>2</sup>.

### MODO DE EMPLEO

#### Aplicación

- Como imprimante, se diluye en agua en proporción de 1:1, aplicando el producto por aspersión.
- Como ligante o aglutinante se utiliza sin diluir utilizando métodos de mezcla convencionales.

#### Seguridad

- Consultar hoja de seguridad del material, apartado 3,4,10,3



## Anexo 8 Factor de Corrección para Ensayo Marshall

ESPESOR	FACTOR	ESPESOR	FACTOR	ESPESOR	FACTOR
mm		mm		mm	
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	0.818
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	1.002	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	69,4	0,868	74,4	0.784
64,7	0.970	69,5	0,866	74,5	0.782
64,8	0.963	69,6	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	0,832	76,1	0,761

Fuente: Norma INV E-748-07

**Anexo 9. Análisis de precios unitarios de la elaboración de un adoquín con mezclas asfálticas recicladas y no recicladas.**

- Análisis de precios unitarios para 1 adoquín elaborado con agregados reciclados

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIO</b>						
RUBRO:		Adoquin de asfalto reciclado				
UNIDAD:		u				
DETALLE		R=			horas/unidad	unidad
					0,0160	500,0000
<b>EQUIPOS</b>						
Codigo	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
	Herramientas manuales					-
	Maquina Compactadora	1,00	2,58	2,58	0,0160	0,04
	-	-	-	-	-	-
Subtotal M						0,04
<b>MANO DE OBRA</b>						
Codigo	Descripción (Categoría)	Cantidad	Jornal/hora	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
1,00	Peón 1	1,00	3,58	3,58	0,0160	0,06
	Peón 2	0,50	3,58	1,79	0,0160	0,03
Subtotal N						0,09
<b>MATERIALES</b>						
Codigo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
	pavimento asfáltico reciclado	kg	2,05000	0,02	0,040	
	emulsion asfáltica	kg	0,2640	0,09	0,023	
	cemento	kg	0,2090	0,03	0,010	
	agua	kg	0,0700	0,01	0,0007	
	-	-	-	-	-	
Subtotal O						0,07
<b>TRANSPORTE</b>						
Codigo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
			A	B	C=A*B	
					-	
					-	
Subtotal P						-
Total costo directo (M+N+O+P)						0,21
Indirectos y utilidades %						15%
Otros indirectos %						-
Costo total del rubro						0,24
<b>Valor Ofertado</b>						<b>0,24</b>

- **Análisis de precios unitarios para 1 adoquín elaborado con agregados reciclados**

<b>Rubro:</b>	1			<b>Unidad:</b>	u
<b>Detalle:</b>	<b>Precio Adoquín con agregados no reciclados</b>			horas/unidad	unidad
				0,0178	450,0000
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales (5% M.O)					0,003
Maquina Compactadora	1	2,650	2,650	0,018	0,047
SUBTOTAL M					<b>0,050</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
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					<b>0,064</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Agregados finos +grueso		kg	2,103	0,093	0,196
Emulsión asfáltica		kg	0,260	0,090	0,023
Cemento		kg	0,180	0,030	0,005
Agua		kg	0,070	0,010	0,001
SUBTOTAL O					<b>0,225</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P					
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					0,339
INDIRECTOS 15 %					0,05
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0,390
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>0,39</b>

## Anexo 10 Análisis de precios unitarios de la estructura del pavimento articulados

- Replanteo y nivelación de vía

<b>Rubro:</b>	1			<b>Unidad:</b>	m
<b>Detalle:</b>	Replanteo y Nivelación				
				horas/unidad	unidad
				0,0800	100,0000
<b>EQUIPOS</b>					
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					<b>0,258</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
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					<b>0,897</b>
<b>MATERIALES</b>					
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					<b>0,924</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
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
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>2,391</b>

- **Análisis de precios unitarios de la subrasante**

<b>Rubro:</b>	2			<b>Unidad:</b>	m3
<b>Detalle:</b>	<b>Subrasante conformación y compactación con equipo pesado</b>				
				horas/unidad	unidad
				0,0080	1.000,0000
<b>EQUIPOS</b>					
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
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,840</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
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
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,278</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>0,000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,000</b>
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>1,118</b>
<b>INDIRECTOS 15 %</b>					<b>0,17</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>1,285</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>1,29</b>

- **Análisis de precios unitarios de la Subbase**

<b>Rubro:</b>	3			<b>Unidad:</b>	m3
<b>Detalle:</b>	Sub base (conformación y compactación con equipo pesado)				
				horas/unidad	unidad
				0,0320	250,0000
<b>EQUIPOS</b>					
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
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,527</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Jornal/hr	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 autopulsado	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
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,933</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Agua		lt	40	0,01	0,4
Subbase clase 3		m3	1,310	12,000	15,72
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>15,720</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,000</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>19,180</b>
<b>INDIRECTOS 15 %</b>					<b>2,88</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>22,057</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>22,06</b>

- **Análisis de precios unitarios de la colocación de adoquines elaborados con agregados reciclados.**

<b>Rubro:</b>	5			<b>Unidad:</b>	m2
<b>Detalle:</b>	Adoquin con agregados reciclados (incl. Cama de arena e=3 y emporado con cemento y arena fina)				
				horas/unidad	unidad
				0,2000	40,0000
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales (5% M.O)					0,164
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,164</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
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
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3,275</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
			A	B	C=A*B
Adoquin		u	42,000	0,240	10,080
Cemento		saco	0,081	8,000	0,650
Arena		m3	0,050	10,000	0,500
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>11,230</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					0,000
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					14,669
<b>INDIRECTOS 15 %</b>					2,20
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					16,870
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>16,87</b>





- **Análisis de precios unitarios de Bermas**

<b>Rubro:</b>	6			<b>Unidad:</b>	ml
<b>Detalle:</b>	<b>Bermas de hormigón simple 15x30 cm f'c=180kg/cm2</b>				
				horas/unidad	unidad
				0,1231	65,0000
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantida d	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
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,309</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantida d	Jornal/h, r	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
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3,110</b>
<b>MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantida d	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
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>3,113</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantida d	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,000</b>
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>6,532</b>
<b>INDIRECTOS 15 %</b>					<b>0,98</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>7,512</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>7,51</b>

- Análisis de precios unitarios de la colocación de adoquín tradicional

<b>Rubro:</b>		<b>Unidad:</b>	m2		
<b>Detalle:</b>	<b>Adoquín convencional (incl. Cama de arena e=3 y emporado con cemento y arena fina)</b>				
				horas/unidad	unidad
				0,2000	40,0000
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas manuales (5% M.O)					0,164
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,164</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
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
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>3,275</b>
<b>MATERIALES</b>					
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
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>15,810</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
			A	B	C=A*B
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,000</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>19,249</b>
<b>INDIRECTOS 15 %</b>					<b>2,89</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>22,136</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>22,14</b>

**Anexo 11: Dosificación para adoquines de hormigón simple**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad en Kg por m3 de hormigón</b>	<b>Dosificación al peso</b>	<b>Cantidad en Kg por saco de cemento</b>	<b>CA%</b>	<b>CH%</b>	<b>Corrección Humedad CA%-CH%</b>	<b>Cantidad corregido en Kg por saco de cemento</b>
W	0,58	29	-	-	-	2,28	31,28
C	1	50	-	-	-	-	50
A	1,95	97,33	1,5	1,1	0,4	0,39	96,94
R	2,53	126,36	2,3	0,8	1,5	1,9	124,46