



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON EMULSIÓN**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER YAMILET JENNIFER VIZCARRA CONDORI**

**ASESOR:**

**INGENIERO EMERSHON ESCOBEDO CABRERA**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2016**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Contenido.....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de ecuaciones.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO II OBJETIVOS**

2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivo específicos.....	3

### **CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA**

3.1. Marco teórico.....	4
3.1.1. Marco teórico de mezcla asfáltica con emulsión.....	4
3.1.1.1. Definición de mezcla asfáltica.....	4
3.1.1.2. Definición emulsión.....	12
3.2. Diseño de mezcla asfáltica con emulsión.....	27
3.2.1. Método de diseño de mezclas con emulsiones.....	27
3.2.1.1 Pruebas para determinar las características del material pétreo.....	28
3.2.1.2. Determinación del tipo de emulsión más adecuada.....	28
3.2.1.3. Cálculo para contenido de cemento asfáltico.....	29
3.2.2. Principales usos de mezclas con emulsión.....	44

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones.....	46
4.2. Recomendaciones.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Componentes básicos que presenta el asfalto.....	6
Tabla 2. Causas y los efectos que producen la inestabilidad en los pavimentos.....	7
Tabla 3. Causas y los efectos que ocasionan la poca durabilidad.....	9
Tabla 4. Composición de las emulsiones asfálticas que son modificadas con polímeros.....	17
Tabla 5. Nomenclatura para emulsiones asfálticas.....	18
Tabla 6. Porcentaje de los tamaños promedio de partícula de una emulsión.....	21
Tabla 7. Tipos y porcentajes típicos del emulsificante.....	24
Tabla 8. Temperaturas de almacenamiento para emulsiones asfáltica.....	26
Tabla 9. Las constantes de área en m <sup>2</sup> /kg de material pétreo.....	30
Tabla 10. Composición granulométrica del ejemplo de aplicación.....	31
Tabla 11. Resultados de la multiplicación de los porcentajes por las constantes de área.....	31
Tabla 12. Índices asfálticos.....	32
Tabla 13. Coeficiente asfáltico según el tipo de material.....	33
Tabla 14. Ensayos de laboratorio de los agregados pétreos y especificaciones técnicas.....	36
Tabla 15. Ensayos de laboratorio de emulsiones asfálticas.....	37
Tabla 16. Ensayos y análisis del diseño final.....	42
Tabla 17. Parámetros control de calidad para la mezcla.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Esquema de una emulsión.....	12
Figura 2. Diagrama de las fases de una emulsión.....	13
Figura 3. Diagrama de la clasificación de una emulsión.....	14
Figura 4. Diagrama de flujo para la fabricación de emulsión asfáltica.....	19
Figura 5. Esquema típico de una emulsión a nivel microscópico.....	20
Figura 6. Diagrama de flujo a seguir para el diseño de mezcla.....	35
Figura 7. Probeta de mezcla asfáltica.....	41

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Contenido de cemento asfáltico .....	33
Ecuación 2. Porcentaje de asfalto residual.....	38
Ecuación 3. Contenido estimado de asfalto residual.....	39

## RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia profesional se presenta una revisión sobre diseño de mezcla asfáltica con emulsión, para comprender el comportamiento de una mezcla asfáltica con emulsión daremos a conocer la composición, las propiedades y los tipos de mezclas asfálticas, así como también la clasificación, nomenclatura, composición y las ventajas de las emulsiones asfálticas. El objetivo principal del trabajo de suficiencia profesional es conocer el diseño en general de una mezcla de material pétreo con emulsión, para lo cual se dará a conocer los métodos de diseños, los tipos de pruebas para determinar las características del material pétreo, los cálculos a realizar y los principales usos de las emulsiones asfálticas ya que cuenta con una gran variedad de usos y aplicaciones en la construcción, rehabilitación y mantenimiento de los pavimentos.

En el capítulo IV se exponen las conclusiones y recomendaciones del trabajo de suficiencia profesional que tiene como tema diseño de mezclas asfálticas con emulsión.

*Palabras clave:* mezcla asfáltica, diseños de mezcla, material pétreo, emulsión, asfalto, pavimentos, construcción, rehabilitación.

## **ABSTRACT**

In the present work of professional proficiency a review is presented on asphalt mix design with emulsion, to understand the behavior of an asphalt mixture with emulsion we will present the composition, the properties and the types of asphalt mixtures, as well as the classification, nomenclature, composition and the advantages of asphalt emulsions. The main objective of the work of professional proficiency is to know the general design of a mixture of stone material with emulsion, for which will be made known the design methods, the types of tests to determine the characteristics of the stone material, the calculations to perform and the main uses of asphalt emulsions since it has a wide variety of uses and applications in the construction, rehabilitation and maintenance of pavements.

Chapter IV presents the conclusions and recommendations of the work of professional proficiency that has as a theme the design of asphalt mixtures with emulsion.

Keywords: asphalt mix, mix designs, stone material, emulsion, asphalt, pavements, construction, rehabilitation

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La economía en el Perú viene incrementando de manera sostenida en estos últimos años y una de sus actividades primordiales es la infraestructura vial, empleándose así las mezclas asfálticas en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores teniendo como objetivo principal de brindar una superficie de rodamiento segura, cómoda y económica, facilitando la circulación de los vehículos.

Las emulsiones asfálticas han sido desarrolladas a comienzos del siglo XX, estas fueron utilizadas originalmente como riego “spray applications” y también como paliativo de polvo “dust palliatives”.

Comúnmente hace unos años atrás se consideraban las mezclas asfálticas con emulsión como de calidad inferior a comparación de las mezclas en planta, en caliente, hechas con cemento asfáltico. Sin embargo los avances tecnológicos hoy en día nos demuestran que estas mezclas no solo se pueden usar en vías secundarias es decir con bajas cargas de tráfico, sino también se desempeñan

como otro tipo de mezclas asfálticas con una amplia variedad de usos y aplicaciones en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos.

Por ello, el presente trabajo se concentra fundamentalmente en mostrar el diseño de mezclas asfálticas con emulsión desde un punto de vista general de una mezcla de material pétreo con emulsión.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Mostrar el diseño de mezclas asfálticas con emulsión desde un punto de vista general.

#### **2.2. Objetivo específicos**

Conocer la composición, las propiedades y los tipos de mezclas asfálticas que existen.

Conocer la clasificación, nomenclatura, composición y las ventajas de las emulsiones.

Conocer el diseño de las mezclas asfálticas con emulsión desde un punto de vista general: los tipos de pruebas utilizados para determinar las características del material pétreo, los cálculos a realizar y los usos principales de las emulsiones asfálticas

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Marco teórico**

Hoy en día podemos ver que gracias a los avances tecnológicos las mezclas asfálticas con emulsión cuentan con una amplia variedad de usos y aplicaciones en cuanto a la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

##### **3.1.1. Marco teórico de mezcla asfáltica con emulsión**

###### ***3.1.1.1. Definición de mezcla asfáltica***

La mezcla asfáltica está formado por una mezcla homogénea de agregados pétreos y un ligante asfáltico y son empleadas en la conformación de las capa de rodadura en pavimentación, previo transporte, extensión y compactación.

Las mezclas asfálticas, reciben también la nominación de aglomerados, ya que están formadas por una mezcla de agregados pétreos y de un ligante hidrocarbonato. Son fabricadas en unas centrales ya sean fijas o móviles, luego son transportados a obra donde son extendidas y compactadas.

*a. Composición de una mezcla asfáltica*

Vienen a estar constituida aproximadamente por un 90 % de agregados como son piedra y arena gruesa, un 5 % de polvo mineral (filler que pasa la malla # 200) y el otro 5 % de ligante asfáltico.

Los elementos que tienen mayor influencia tanto en la calidad de mezcla como en el costo total son el polvo mineral y el ligante asfáltico.

*b. Asfalto*

El asfalto es un material ligante de color marrón oscuro, constituido principalmente por betunes que pueden ser obtenidos por refinación del petróleo, es decir, que se encuentran en proporciones variables en la mayoría de petróleos crudos (Huamán, 2003).

Se considera al asfalto como un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el que es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa (Bracho, 2005).

➤ *Principales constituyentes del asfalto*

Dentro de los principales constituyentes del asfalto tenemos.

- *Asfaltenos*

Los asfaltenos están compuestos de alto peso molecular y son los responsables de darle las características de dureza al asfalto, los encontramos disueltos en los maltenos.

- *Maltenos*

Los maltenos son compuestos hidrocarbonosos como resinas y aceite, forman partes del asfalto en la fase continua, le brindan las propiedades elásticas y dúctiles al asfalto.

De la tabla 1 se muestra los componentes básicos que presenta el asfalto

**Tabla 1**

*Componentes básicos que presenta el asfalto*

<b>Elemento básico</b>	<b>Peso molecular (g/mol)</b>
Asfáltenos	4 000 a 7 000
Maltenos	600 a 1 000
Resinas	1 000 a 2 000
Aceites aromáticos	2 000 a 4 000

Fuente: Bracho, 2005

*c. Propiedades de las mezclas asfálticas*

➤ *Estabilidad*

La estabilidad es la resistencia de la mezcla a la deformación bajo cargas, se producen principalmente debido a la acción de las cargas lentas a altas temperaturas, o por la de cargas alternativas.

La estabilidad viene a ser su capacidad del asfalto para resistir tanto las deformaciones y los desplazamientos al someterse a las cargas del tránsito, se dice que un pavimento es estable cuando es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas, el pavimento que es inestable desarrolla ondulaciones (corrugación), ahuellamientos (canales,) y otro tipo de señales que indican cambios en la mezcla (Rolando, 2002).

La fricción y la cohesión interna le dan la estabilidad a la mezcla. La fricción entre las partículas del agregado viene a estar relacionada con las características del agregado tales como son la forma y la textura superficial y la cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Debido a las fuerzas que son ejercidas por el tráfico veremos que un grado propio de fricción y cohesión interna en la mezcla, evita los desplazamientos de las partículas de agregado.

En la tabla 2 se muestra las causas y efectos de inestabilidad del pavimento.

**Tabla 2**

*Causas y los efectos que producen la inestabilidad en los pavimentos*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Exceso de asfalto en la mezcla	Producen ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo dificulta la compactación
Agregado redondeado con o sin pocas superficies trituradas	Producen ahuellamiento y canalización

Fuente: Maila, 2013

➤ *Durabilidad*

La durabilidad es la resistencia que tiene la mezclas con forme pasa el tiempo, e incluye su envejecimiento y la acción abrasiva de la circulación, estos factores hacen que se produzcan en el pavimento deformaciones, grietas y desintegración. La durabilidad va depender de las condiciones propias que tengan el ligante y los agregados pétreos. Con el objeto de cumplir esta condición, se hacen las siguientes recomendaciones básicas:

- Compactación máxima en obra.
- Máxima impermeabilidad de la capa superficial.
- De preferencia usar mezcla de graduación cerrada.

La cantidad mayor posible de asfalto hace que aumenta la durabilidad ya que películas gruesas de asfalto no endurecen o envejecen tan rápido en comparación de las películas delgadas. Por lo tanto, el asfalto retiene, por un mayor tiempo, sus características originales. Además, el contenido máximo posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, dificultando la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos (Maila, 2013).

En la tabla 3 se muestra las causas y los efectos que ocasiona la poca durabilidad.

**Tabla 3**

*Causas y los efectos que ocasionan la poca durabilidad*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Contenido de asfalto bajo	Se endurece rápidamente el asfalto y se desintegra por pérdida de agregado
Contenido de vacíos alto debido al diseño o a la falta de compactación	El asfalto se endurece tempranamente seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua	Produce un pavimento desgastado y desintegrado debido a que las películas de asfalto se desprenden del agregado

Fuente: Maila, 2013

➤ *Flexibilidad*

La flexibilidad es la aptitud de la mezcla para poder adaptarse a las deformaciones que se producen en la capa base y sub-base. La experiencia nos indica que el contenido de ligante hace que la flexibilidad aumente y viene a ser máxima en las mezclas cuya graduación es abierta.

➤ *Resistencia a las cargas*

Las mezclas se comportan como estructuras elásticas ante la acción de las cargas que actúan en el pavimento, que vienen a ser cargas repetidas, ocasionándose una ruptura al haber una relación entre la deformación y el número de cargas.

Se ha observado que la resistencia aumenta cuando se usan mezclas de graduación cerrada y con mayor contenido de ligante.

➤ *Resistencia al deslizamiento*

La aptitud de la superficie de un pavimento de ofrecer la suficiente rugosidad para permitir el frenado de los vehículos en una distancia razonable es lo que se

conoce como resistencia al deslizamiento. Entonces podemos decir que los factores que permiten una alta resistencia al deslizamiento son los mismos factores que contribuyen a una alta estabilidad, en especial la naturaleza de los agregados pétreos.

➤ *Impermeabilidad*

La impermeabilidad se mide a través del coeficiente de permeabilidad de la mezcla, los factores que contribuyen a aumentar la impermeabilidad son el alto contenido de ligante, buena compactación y graduación cerrada.

➤ *Resistencia a la rotura*

La resistencia a la rotura viene a ser la máxima tracción que puede soportar una mezcla asfáltica hasta el instante de producirse la rotura por acción de las cargas del tránsito y de las tensiones debido a los cambios de temperatura y de los ciclos de hielos-deshielos. Dentro de los factores que aumentan la resistencia a la rotura tenemos: la granulometría el contenido del ligante, la naturaleza de los agregados pétreos, la concentración del filler y la densidad de la mezcla.

Podemos decir que las mezclas que pueden garantizar mejor comportamiento son las que presentan altos contenido de ligante, graduación cerrada y adecuada compactación en obra.

#### *d. Tipos de mezcla asfáltica*

##### ➤ *Mezclas asfálticas en caliente*

Son las mezclas que son fabricadas en plantas especiales en donde el agregado es calentado a una temperatura mayor a los 100 °C y el cemento asfáltico se calienta a temperaturas elevadas que se encuentran entre los 150 a 180 °C.

Estas mezclas no deben ser puestas en obra a temperaturas menores de los 110 °C debido a que en temperaturas menores la mezcla se endurece y por lo tanto la mezcla no podrá ser extendida y compactada adecuadamente.

##### ➤ *Mezclas asfálticas en frío rebajado*

Las mezclas asfálticas en frío rebajado son mezclas en las que el ligante es asfalto con adición de gasolina, kerosene o petróleo diésel, los cuales son calentados a una temperatura no menor a 60 °C y mezclados con los agregados: piedra y arena gruesa.

##### ➤ *Mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica*

Son mezclas a las cuales se les añade un emulsivo químico y una cierta cantidad de agua son mezclados por medio de un agitador especial, en su conjunto, estas mezclas vienen a ser el cemento residual.

### 3.1.1.2. Definición emulsión

La emulsión viene a estar definida como una dispersión en forma de partículas muy finas de un líquido en otro líquido en el que no es soluble y están unidas por un agente emulsificante.

Para utilizar en pavimentos el asfalto deberá estar fluidificado ya sea calentándose, diluyéndose o emulsionándose. Al emulsionar el asfalto con agua se protege al medio ambiente ya que se empleara menor cantidad de energía en su producción y así no produciremos contaminación al medio ambiente durante su aplicación, debido a que se evapora el agua en lugar del solvente usado en los asfaltos diluidos o el volátil que se encuentra presente en los asfaltos en caliente.

Debido que se trata de dos elementos ya sea parcialmente o totalmente inmiscibles se forma dos fases que vienen a ser: la fase continua o dispersante y la fase dispersa o discreta.

De la figura 1 se puede observar el diagrama del esquema de una emulsión

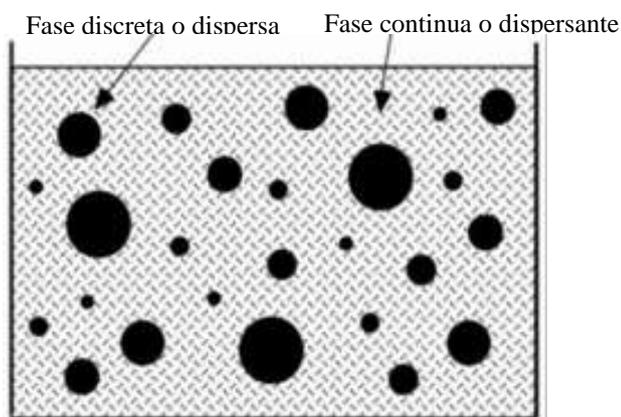


Figura 1. Esquema de una emulsión.

Fuente: Instituto mexicano de transporte, 2003

*a. Emulsión Directa*

Si la fase discreta es hidrocarbonada y la fase continua es agua se dice que es una emulsión directa

*b. Emulsión Inversa*

Si la fase discreta es acuosa y la fase continua es un asfalto de petróleo se dice que es una emulsión inversa.

En la figura 2 se puede observar los dos tipos de emulsiones según la fase que presentan continua y discreta.

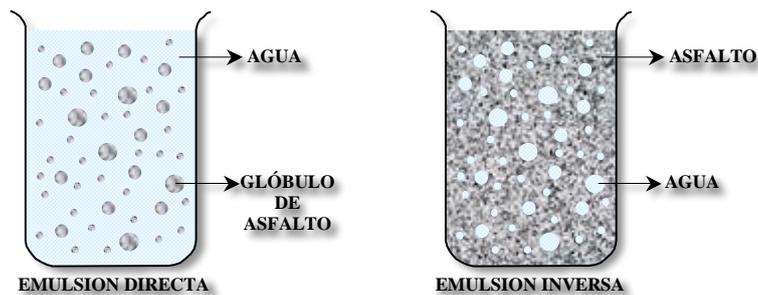


Figura 2. Diagrama de las fases de una emulsión

Fuente: Bracho, 2005

*c. Clasificación de emulsiones*

➤ *Por su naturaleza*

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 la carga eléctrica del glóbulo de asfalto es negativa se dice que es una emulsión aniónica (-) (Huamán, 2003).

- *Catiónicas*

Son catiónicas cuando el agente emulsificante le da una polaridad positiva a los glóbulos, es decir que éstos adquieren una carga positiva (+).

- *Aniónicas*

Las emulsiones vienen a ser aniónicas cuando el agente emulsificante le da una polaridad negativa a los glóbulos, es decir que éstos adquieren una carga negativa (-).

En la figura 3 se puede observar la clasificación de las emulsiones.

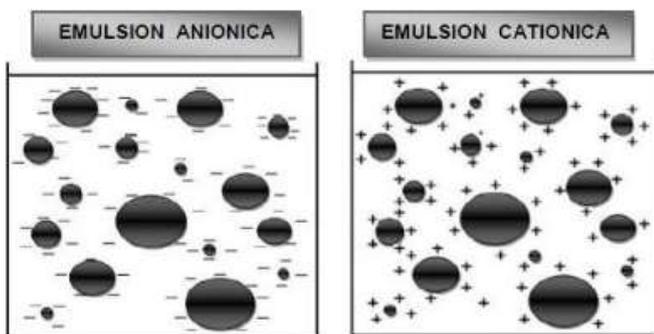


Figura 3. Diagrama de la clasificación de una emulsión

Fuente: Instituto mexicano de transporte, 2003

Para saber qué tipo de emulsión se empleara ya sea catiónica o aniónica dependerá principalmente del agregado y el factor climático, siendo las catiónicas la más adaptables a la mayor parte de los agregados ya sea de cualquier naturaleza y también permiten trabajar en condiciones climáticas más desfavorables en cambio la aniónica es de muy reducida aplicación ya que requiere condiciones ambientales muy favorables

Estos dos grupos de emulsiones catiónicas y aniónicas se pueden dividir a su vez en función de su velocidad de rotura (velocidad con que las gotas de asfalto se juntan restaurando el volumen de asfalto). Es necesario este proceso de rotura porque el material debe ser recubierto por el asfalto.

➤ *Según el proceso de ruptura o reactividad*

Debido a la carga que presenta el agregado se producirá la rotura de la emulsión, el cual va a neutralizar la carga del asfalto en la emulsión. Es así que la pequeña carga que tiene la emulsión se irá moviendo hasta el agregado que presenta carga opuesta y se empezará a formar partículas de asfalto de gran tamaño.

- *Emulsiones de rotura rápida*

Este tipo de emulsiones reaccionan rápidamente con el árido cambiando así su estado de emulsión al asfalto, formándose una película relativamente gruesa. Son aplicadas normalmente mediante riego, presentando una excelente performance en diferentes zonas geográficas a distintas altitudes y climas.

- *Emulsiones de rotura media*

Estas emulsiones se mezclan con los agregados gruesos y al entrar en contacto con el árido no rompen inmediatamente. Son utilizados en mezclas que permanecen trabajables por algunos minutos, las cuales deben realizarse en plantas, ya sean móviles o fijas. No se recomienda su uso para los baches porque producen mezclas abiertas las cuales deben ser selladas con arena gruesa.

- *Emulsiones de rotura lenta*

Estas emulsiones utilizan agregados que tengan una gradación densa y con alto contenido de finos, son utilizados para la máxima estabilidad de mezclado. Además estas emulsiones aseguran una buena mezcla con los ya que presentan largos períodos de trabajabilidad.

- *Emulsiones súper estables. Mortero asfáltico (slurry seal)*

Para resolver varios problemas del pavimento se emplea el slurry seal. Se recubre el material pétreo por el asfalto en su totalidad lo que permite una superficie de rodadura impermeable y silenciosa debido a esto se reduce el riesgo a accidentes en superficies resbalosas, a diferencia de los tratamientos superficiales.

- *Superficie micro pavimento (micro surfacing)*

El micro pavimento es una mezcla de agregados bien graduados, emulsión asfáltica, fillers, aditivos especiales y agua, la adición de polímeros y el uso de técnicas de diseño especializadas permiten espesores mayores que el slurry seal.

- *Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros sbr*

Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros sbr se obtienen por medio de la adición de polímeros de estireno butadieno caucho, estos polímeros ayudan a mejorar su comportamiento frente a temperaturas y servicios críticos, aumentando su durabilidad, elasticidad, cohesividad, adhesividad, etc.

Se recomienda la utilización de estas emulsiones especiales para zonas con cambios de temperatura extremos y bruscos, y para vías de primer orden.

Las emulsiones modificadas pueden ser de rotura rápida, media, lenta y súper estable.

En la tabla 4 se detalla la composición de las emulsiones asfálticas que son modificadas con polímeros

**Tabla 4**

*Composición de las emulsiones asfálticas que son modificadas con polímeros*

<b>Elemento</b>	<b>Emulsión modificadas con polímeros</b>
Cemento asfáltico	50 - 70
Estabilizante	0,20 – 1,50
Agua	35 - 45
Polímero	1 - 4

Fuente: Asphalt institute, 1973

#### *d. Nomenclatura para emulsiones asfálticas*

En la tabla 5 se detalla las nomenclaturas que se usan para poder identificar los tipos de emulsión asfáltica, ya sean aniónicas o catiónicas.

**Tabla 5***Nomenclatura para emulsiones asfálticas*

<b>Emulsión aniónica</b>	<b>Emulsión catiónica</b>
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

Nota: La letra C emulsión catiónica, la ausencia de esta letra indica una emulsión aniónica.

Los valores 1 y 2 indican la viscosidad, un valor igual a 1 indica una viscosidad baja y un valor igual a 2 indican una viscosidad alta, la letra “h” indica que la base asfáltica es más consistente (hard, dura), la letra “s” indicaría que la base es más blanda (soft), as letras HF significa alta flotación

Fuente: Normas AASHTO M140-M208 y ASTM D977-D2397, 1999

#### *e. Producción de la emulsión*

##### ➤ *Equipo Emulsificador*

El equipo que se utiliza para la fabricación de emulsiones es el molino coloidal que viene a ser una maquina centrifuga que se encarga de homogenizar el cemento asfaltico y la solución acuosa este molino coloidal se encarga también de fraccionar el cemento asfáltico en partículas pequeñas que se denominan glóbulos. Para su fabricación en planta se van a utilizar diferentes equipos como son un tanque de solución emulsificante, un tanque para calentar el asfalto, bombas y medidores de flujo.

El molino coloidal consta de un rotor de alta velocidad que se encarga de girar a velocidades de 1000 a 6000 revoluciones por minuto (17 – 100 hz), tiene la facultad de regular las partículas a tamaños de 0,01 a 0,02 pulgadas (0,25 a 0,50 mm) (Rosero, 2013).

En la figura 4 se puede observar el diagrama de flujo para la fabricación de emulsión asfáltica

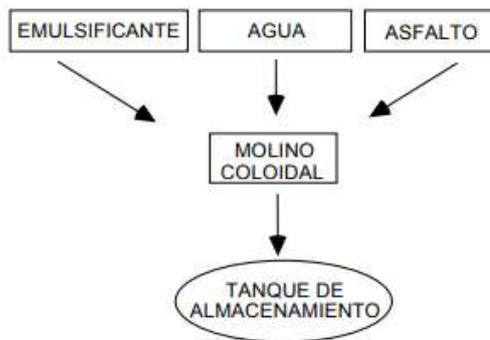


Figura 4. Diagrama de flujo para la fabricación de emulsión asfáltica

Fuente: Instituto mexicano de transporte, 2003

#### ➤ *Proceso de Emulsificación*

Se envía flujos de cemento asfáltico fundido y agua tratada en dirección de la entrada del molino coloidal utilizando bombas que desplacen estos materiales, el asfalto y el agente emulsificante son expuestos a grandes esfuerzos de corte en el paso por el interior del molino coloidal, el resultado es una emulsión que puede moverse utilizando bombas a través de un intercambiador térmico, la emulsión es bombeada desde el intercambiador de calor a tanques de almacenamiento en bruto, estos tanques pueden contener dispositivos agitadores en su interior con el fin de garantizar un mezclado uniforme (Rosero, 2013).

Para la fabricación de las emulsiones en el molino coloidal la temperatura deben estar bajo el punto de ebullición del agua por ningún motivo se utilizaran temperaturas extremas, para la fabricación de emulsiones estables se deberá tener en cuenta el tamaño de las partículas de asfalto

En la tabla 6 se detalla los porcentajes de los tamaños promedios de partícula

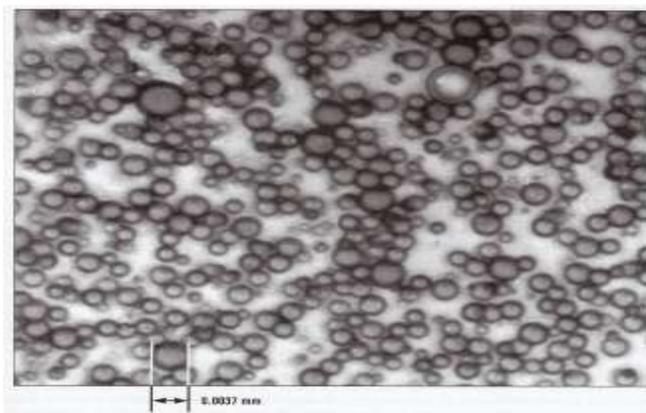
**Tabla 6**

*Porcentaje de los tamaños promedio de partícula de una emulsión*

<b>Tamaño</b>	<b>Porcentaje</b>
Menores que 0,001 mm (1 $\mu$ m)	28 %
0,001 - 0,005 mm (1-5 $\mu$ m)	57 %
0,005 - 0,010 mm (5-10 $\mu$ m)	15 %

Fuente: Gonzáles, 2007

En la figura 5 se puede observar el esquema típico de una emulsión a nivel microscópico.



*Figura 5.* Esquema típico de una emulsión a nivel microscópico.

Fuente: Gonzáles, 2007

*f. Composición de la emulsión asfáltica*

Las emulsiones están compuesta por lo siguiente:

➤ *Cemento asfáltico*

El cemento asfáltico representa del 55 % al 70 % de la emulsión y es el ingrediente básico

Las emulsiones mayormente se hacen con asfaltos situados dentro de un intervalo de penetración entre 100 a 250.

Se necesita que exista una compatibilidad del cemento asfáltico y el agente emulsificante para que se produzca una emulsión asfáltica estable. Según las condiciones climáticas se podrá determinar el uso de un asfalto base más blando o más duro.

➤ *Solución jabonosa: agua*

El agua es el segundo ingrediente en cantidad, ya que representa el 98 % de la solución jabonosa por lo que es considerado un componente muy importante. Se debe tener en cuenta que el agua puede contener sustancias que perjudiquen la producción de las emulsiones asfálticas estables es por esto que el agua utilizada para la producción de las emulsiones debe estar pura y libre de materias extrañas.

La presencia de iones de calcio y magnesio pueden afectar las propiedades de la emulsión es por esto que se no se debe utilizar agua que contenga materias extrañas en la producción de emulsiones debido a que pueden ocasionar alteraciones en los componentes de la emulsión afectando el comportamiento o produciendo la rotura prematura.

➤ *Agente emulsificante*

Este químico se encarga de crear la compatibilidad o afinidad entre el asfalto y la solución acuosa a demás determinara si la emulsión se clasifica como aniónica o catiónica, representa el 1 % de la solución jabonosa, la composición química de los emulsificantes por lo general son aminas o derivados de aminas que se obtiene a partir de la grasa animal o la grasa vegetal, las propiedades de una emulsión van a depender del producto químico usado como emulsificante, además también mantienen los glóbulos de asfalto en suspensión estable y permiten una rotura oportuna.

*g. Denominación universal de las emulsiones*

Se ha establecido una denominación de uso universal para designar específicamente a un producto determinado. En el caso de las emulsiones, a fin de diferenciar las aniónicas y las catiónicas, se agrega en estas últimas la letra k; y para distinguir la dureza del residuo del ensaye de destilación, se le agrega la letra “h” para los residuos duros.

➤ *Emulsiones aniónicas de rotura rápido (RS)*

Se usan en rellenos de juntas en pavimentos de hormigón, tratamientos superficiales y macadam asfálticos por penetración.

RS – 1

RS – 2

➤ *Emulsiones aniónicas de rotura lento (SS)*

Se usan en riego matapolvos, riegos de liga, sello negro o fog-seal, sello de lechada asfáltica o slurry-seal, mezclas en planta en frío de graduación abierta, relleno de juntas de pavimentos de hormigón mezclados con arena y cemento.

SS – 1

SS – 1h

➤ *Emulsiones aniónicas de rotura medio (MS)*

Se usan en mezclas asfálticas en sitio.

MS – 2

➤ *Emulsiones catiónicas de quiebre rápido*

Se usan en riegos de liga; macadam asfáltico por penetración, sellos de arena y relleno de juntas de pavimentos de hormigón.

RS – 2k

RS – 3K

➤ *Emulsiones catiónicas de rotura medio*

Se usan en mezclas con arena y en suelo asfalto con agregados pétreos que contengan un 20 % bajo la malla número 200.

CMK

SMK

➤ *Emulsiones catiónicas rotura lento*

Se Usan en riegos matapolvos, riegos de liga, riego negro o fog-seal, sellos de lechada asfáltica o slurry-seal, mezclas en sitio de graduación abierta, mezclas en planta en frío, suelo asfalto.

SS – 3K

SS – 3 Kh

La tabla 7 muestra los tipos y los porcentajes típicos de emulsiones

**Tabla 7**

*Tipos y porcentajes típicos del emulsificante*

<b>Tipo de Emulsión</b>	<b>Emulsificante (%)</b>	<b>ph</b>	<b>Tipo de emulsificante</b>
Catiónica de rotura rápida	0,15 - 0,25	2 - 4	Grasa diamina
Catiónica de rotura media	0,30 - 0,60	1,50 - 4	Grasa diamina
Catiónica de rotura lenta	0,80 - 2,00	2 - 5	Amina cuaternaria
Aniónica de rotura rápida	0,20 - 0,40	10,50 - 12	Resina acida
Aniónica de rotura media	0,40 - 0,80	10,50 - 12	Resina acida
Aniónica de rotura lenta	1,20 - 2,50	7,50 - 12	Lignosulfonato no-iónico

Fuente: Soengas C., 2006

#### *h. Almacenamiento de las emulsiones asfálticas*

Para el almacenamiento de las emulsiones asfálticas se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Se debe almacenar la emulsión como se almacenaría el agua líquida es decir entre los 10 °C (50 °F) y 85 °C (185 °F), esto dependerá del uso buscado y el producto en cuestión.
- A mayor temperatura se evapora el agua, modificándose así las características de la emulsión asfáltica, por lo tanto las emulsiones no se deben calentar por encima de los 85 °C.
- No se debe permitir que la emulsión asfáltica se congele ya que produce la rotura de la emulsión, separándose así el asfalto del agua.
- La temperatura de la superficie de calentamiento no debe exceder los 100 °C ya que se produce la rotura prematura de la emulsión.
- Puede causarse la rotura de la emulsión si se utiliza aire a presión para agitar la emulsión.
- Se debe aislar térmicamente los tanques de almacenamiento con la finalidad de proteger las emulsiones del congelamiento y aprovechar mejor el calor.

- Es mejor la utilización de tanques verticales que tengan una gran altura ya que se expone al aire la menor superficie de la emulsión asfáltica y se evita que se forme una piel de asfalto

La tabla 8 muestra los rangos de temperaturas normales para almacenamiento de las emulsiones asfálticas.

**Tabla 8**

*Temperaturas de almacenamiento para emulsiones asfáltica.*

Grado	Temperatura °C	
	Mínimo	Máximo
RS-1	20°	60°
RS-2, CRS-1, CRS-2, HFRS-2	50°	85°
SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h, MS-1, HFMS-1	10°	60°
CMS-2, CMS-2h, MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s	50°	85°

Nota: RS: rotura rápida; CRS: catiónica de rotura rápida; HFRS: rotura rápida de alta flotación; SS: rotura lenta; CSS: catiónica de rotura lenta; MS: rotura media; HFMS: rotura media de alta flotación; CMS: catiónica de rotura media.

Fuente: Asphalt Institute y Asphalt Emulsion Manufacturer Association (AEMA), 2001

#### *i. Ventajas de las emulsiones asfálticas*

Se resaltan las siguientes ventajas:

- Las emulsiones asfálticas no contaminan el medio ambiente y no son peligrosos, debido a que contiene del 35 % al 40 % de agua como solvente.
- Presentan una viscosidad baja a temperaturas ambiente lo que permite que se tenga un manejo sencillo y seguro.

- Debido a la igualdad de las densidades de sus componentes las emulsiones asfálticas pueden ser almacenadas por un tiempo prolongado ya sean semanas o meses
- Las emulsiones asfálticas que son de tipo catiónico presentan mayor adhesión con la mayoría de los agregados.
- Las emulsiones asfálticas nos permite el ahorro energético ya que no se utiliza sistemas de calentamiento y pueden ser utilizadas a temperatura ambiente por lo que el equipo de aplicación es mucho más sencillo
- Tienen una pronta funcionalidad en obra ya que se aplican en un periodo de tiempo muy corto.
- Se utilizan materiales pétreos de la zona, lo que facilitara su transporte evitándose así la movilización por grandes distancias.
- Las emulsiones que son del tipo catiónico son de ruptura y curado rápido.

## **3.2. Diseño de mezcla asfáltica con emulsión**

### **3.2.1. Método diseño de mezclas asfálticas con emulsión.**

Este trabajo de investigación tiene por finalidad realizar una descripción de la mezcla asfáltica desde un punto de vista del diseño en general de una mezcla de material pétreo con emulsión para lo cual tendremos en consideración los siguientes pasos.

### ***3.2.1.1 Pruebas para determinar las características del material pétreo.***

Para cualquier caso del que se trate primero se deberá conocer todas las características del material pétreo: identificación petrográfica, granulometría, porcentaje de absorción, equivalente de arena, porcentaje de desgaste (prueba de los ángeles). Todas estas pruebas deberán ser realizadas según los métodos de pruebas usuales.

### ***3.2.1.2. Determinación del tipo de emulsión adecuada.***

Una vez obtenidos los datos de los materiales pétreos, procedemos a determinar la emulsión más adecuada para cada caso.

Tomaremos en cuenta la clasificación petrográfica para determinar si la emulsión será aniónica o catiónica, el cual no deberá ser decidido como dato definitivo, ya que el tipo catiónico o aniónico dependerá también de varios factores como es el clima durante la construcción, la temperatura ambiente, disponibilidad de agua en el sitio, procedimiento de mezclado y curado del material.

Dentro de las emulsiones aniónicas y catiónicas se tiene tres tipos de acciones como son: lenta, media y rápida a base de aditivos que se les agregan, existe también la posibilidad de agregarles solventes de acuerdo con el tipo de tendido que se va a realizar y al tipo de mezclado que se seguirá en obra.

### ***3.2.1.3. Cálculo para el contenido de cemento asfáltico.***

Determinaremos el contenido de cemento asfáltico de la mezcla por dos procedimientos que se muestran a continuación.

#### ***a. Calculando el contenido mínimo de cemento asfáltico.***

Se puede emplear los procedimientos que se describen a continuación:

##### ***➤ Calculando el contenido mínimo de cemento asfáltico por el procedimiento del área superficial.***

El procedimiento del área superficial es aplicable en materiales graduados que contengan cierta cantidad de finos.

En primer lugar se debe conocer la composición granulométrica de nuestro material pétreo, para luego calcular el contenido de cemento asfáltico, para lo cual emplearemos el método del área superficial, el cual se basa en la estimación de la superficie del agregado pétreo por cada kg de material.

En la tabla 9 se presenta las constantes de área en  $\text{m}^2/\text{kg}$  de material pétreo.

**Tabla 9**

*Constantes de área en m<sup>2</sup>/kg de material pétreo.*

<b>Material pasante</b>	<b>Material retenido</b>	<b>Constante</b>
Material pasa malla 11/2"	y se retiene en 3/4"	0,27 m <sup>2</sup> /kg material
Material pasa malla 3/4"	y se retiene en # 4	0,41 m <sup>2</sup> /kg material
Material pasa malla # 4	y se retiene en # 40	2,05 m <sup>2</sup> /kg material
Material pasa malla # 40	y se retiene en # 200	15,38 m <sup>2</sup> /kg material
Material pasa malla # 200		53,30 m <sup>2</sup> /kg material

Fuente: Crespo, 2004

Cada una de estas constantes son multiplicados por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes obteniendo como resultado las superficies por kilogramo de material, luego sumamos todas las superficies calculados y el resultado es multiplicado por el índice asfáltico que varía de 0,0055 a 0,01385, de acuerdo con la porosidad y rugosidad de los agregados (Crespo, 2004).

*- Ejemplo de aplicación:*

En el siguiente ejemplo se considerará un índice asfáltico de 0,008, en este ejemplo podremos ver claramente la aplicación de las constantes de área y del índice asfáltico.

Tabla 10 se presenta la composición granulométrica de los agregados pétreos

**Tabla 10***Composición granulométrica del ejemplo de aplicación*

Material pasante	Material retenido		
Material pasa malla 3/4"	y se retiene en # 4	35 %	= 0,35
Material pasa malla # 4	y se retiene en # 40	45 %	= 0,45
Material pasa malla # 40	y se retiene en # 200	15 %	= 0,15
Material pasa malla # 200		5 %	= 0,05
		100 %	= 1,00

Fuente: Crespo, 2004

Multiplicándose estos porcentajes por las constantes de área se tiene:

**Tabla 11***Resultados de la multiplicación de los porcentajes por las constantes de área*

0,35 x 0,41	= 0,14	m <sup>2</sup> /kg material pétreo
0,45 x 2,05	= 0,93	m <sup>2</sup> /kg material pétreo
0,15 x 15,38	= 2,31	m <sup>2</sup> /kg material pétreo
0,05 x 53,30	= 2,68	m <sup>2</sup> /kg material pétreo
sumatoria	= 6,06	m <sup>2</sup> /kg material pétreo

Fuente: Crespo, 2004

En caso de utilizarse una parte de los pétreos, se aplicarán los índices del material que se va a utilizar. Por ejemplo si quitamos el 5 por ciento de finos el nuevo porcentaje vendría ser = 3,55 de cemento asfáltico

Contenido de cemento asfáltico = 6,06 x 0,01 = 0,05 kg de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo, o sea 4,85 kg de cemento asfáltico por cada 100 kg de material pétreo, o lo que sería 4,85 % de cemento asfáltico en peso.

Una vez obtenido el porcentaje de cemento asfáltico se convierte a porcentaje de producto asfáltico, bien sea una emulsión asfáltica o un rebajado, que va ser empleado teniendo en consideración el contenido de residuo asfáltico del mismo.

En la tabla 12 se presenta los índices asfálticos más comunes

**Tabla 12**

*Índices asfálticos*

<b>Material pétreo</b>	<b>Índice asfáltico</b>
Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción	0,0055
Gravas angulosas o redondas, trituradas de baja absorción	0,006
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas de mediana absorción.	0,007
Rocas trituradas de alta absorción	0,008

Fuente: Crespo, 2004

Cuando la absorción es menos de 2 % es considerada como absorción baja, si la absorción está comprendida entre 2 % y 4 % esta es considerada como absorción media y si es mayor al 4 % se considera absorción alta, el porcentaje de cemento asfáltico que es calculado se debe emplear solo como guía para la determinación práctica por medio de la prueba de compresión axial no confinada.

➤ *Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico basado en la distribución de tamaño de la partículas.*

Para la determinación del contenido de cemento asfáltico por el método de la distribución de tamaño de partículas vamos a emplear la siguiente ecuación:

$$p = 0,020 a + 0,045 b + cd \dots \dots \dots \text{ecuación [1]}$$

De la cual:

p : % de cemento asfáltico (expresado con respecto al peso del material)

a : % de material que es retenido en la malla # 10.

b : % de material que pasa por la malla # 10 y es retenida en la malla # 200

c : % de material que pasa la malla # 200.

d : coeficiente asfáltico

En la tabla 13 se presenta el coeficiente asfáltico que variara según las características del tipo de material.

**Tabla 13**

*Coeficiente asfáltico según el tipo de material*

<b>Material</b>	<b>d</b>
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción	0,15
Gravas trituradas de baja absorción	0,2
Rocas trituradas de absorción media	0,3
Rocas trituradas de alta absorción	0,35

Fuente: Crespo, 2004

*b. Contenido óptimo del cemento asfáltico*

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico puede llevar a cabo varios procedimientos, a continuación veremos el método Marshall modificado.

➤ *Metodología de diseño Marshall modificado.*

En la actualidad uno de los métodos de diseño más utilizados es el Marshall modificado que se basa en el método Marshall para diseño de mezcla que son en caliente el cual ha sufrido modificaciones con la finalidad de adaptarse para diseños de mezclas preparado a temperatura ambiente. Su finalidad de este diseño es de proveer una cantidad adecuada de ligante asfáltico el cual estabilice el material granular con la finalidad de darle la estabilidad y la resistencia requerida para poder soportar las aplicaciones de carga sin una deformación permanente excesiva o los efectos por cambios bruscos de temperatura.

En la figura 6 indicamos el diagrama de flujo a seguir para el diseño de mezcla que se da por el método Marshall modificado como se puede apreciar comienza con selección y control de los materiales tanto para el agregado como para la emulsión asfáltica que se realizara mediante los ensayos de laboratorio respectivos, luego se procede a calcular el tentativo contenido de ligante asfáltico, luego el contenido total de agua, continuamos con la elaboración de probetas que van a contener un contenido de asfalto variado y concluimos seleccionando el contenido óptimo de ligante asfáltico el cual va satisfacer todos los criterios de diseño de la mejor manera.



Figura 6. Diagrama de flujo a seguir para el diseño de mezcla  
 Fuente: Galván, 2015

➤ *Selección y control de calidad de los materiales*

Para evaluar se realizara a través de pruebas de laboratorio tanto a los agregados como a las emulsiones asfálticas que serán utilizados.

El 90 por ciento del peso de las mezclas asfáltica están constituidas por los agregados combinados con el asfalto, teniendo sus propiedades como gran influencia sobre el producto terminado. Dentro de los agregados con mayor

utilización tenemos: la piedra, la grava chancada o grava natural, la arena chancada y la arena natural.

La tabla 14 muestra los ensayos de laboratorio a los que se someterá al agregado pétreo, así como sus especificaciones técnicas.

**Tabla 14**

*Ensayos de laboratorio de los agregados pétreos y especificaciones técnicas*

	<b>Descripción</b>	<b>Normativa</b>
Análisis granulométrico	Este ensayo es mediante el cual se determina la distribución de los tamaños de partículas que están presentes en el suelo, se realiza para los agregados gruesos y finos, elaborando una curva granulométrica	ASTM C-136 AASHTO T-27 MTC E-204
Equivalente de arena	Se extrae la muestra del cuarteo realizado para calcular el porcentaje de arena que está presente en el material, se preparan tres muestras.	AASHTO T-176 ASTM D-2 419
Abrasión	Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de desgaste que presentan los agregados por medio de la máquina de los Ángeles.	AASHTO T-96 ASTM C-131
Gravedad específica y absorción de agregados gruesos	Este ensayo determina la relación que existe entre el peso y el volumen del agregado grueso, por medio de este ensayo conoceremos que tan denso es un agregado y su posible uso en obra	ASTM C-127 AASHTO T-87 MTC E-206
Gravedad específica y absorción de agregados finos	Este ensayo determina la relación entre el peso y el volumen del agregado grueso, por medio de este ensayo conoceremos que tan denso es un agregado y su posible uso en obra	ASTM C-128 AASHTO T-84 MTC E-205
Durabilidad de sulfatos	Este ensayo nos permite determinar la resistencia de los agregados al deterioro que es causado por la acción de los factores climáticos a lo largo de su vida útil, puede ser aplicado en agregado grueso y fino.	AASHTO T-104 ASTM D-242

Fuente: Asphalt Institute y Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA), 2001

La tabla 15 muestra los ensayos de laboratorio a los que se someterá las emulsiones asfálticas, así como sus especificaciones técnicas.

**Tabla 15**

*Ensayos de laboratorio de emulsiones asfálticas*

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Normativa</b>
Viscosidad saybolt furol a 25 grados	Para este ensayo se calienta la muestra a una temperatura ya sea 25 °C y 50 °C esto dependerá de las características viscosas que presente la emulsión, se revuelve cuidadosamente, se vuelca a través de un colador en un tubo con orificio tapado luego sacamos el tapón y medimos el tiempo en cual tarda en salir 60 ml de asfalto, este intervalo de tiempo es la viscosidad saybolt furol y su medición se da en segundos.	ASTM D-2 397 ASTM D-244-22
Residuos de la destilación y aceite	Este ensayo se utiliza para la determinación de las proporciones relativas de cemento asfáltico y del agua que está presente en la emulsión.	ASTM D-244-8
Estabilidad de almacenamiento y sedimentación	El objetivo del ensayo de sedimentación es indicar la tendencia que tienen las partículas de asfalto para a perder la estabilidad.	ASTM D-244
Carga de partículas de prueba	Este ensayo tiene como objetivo identificar las emulsiones catiónicas ya sean de rotura rápida y rotura media.	ASTM D-244
Destilación de la emulsión asfáltica	Este ensayo nos permite determinar las proporciones de agua y de residuo asfáltico contenidos en la emulsión asfáltica.	ASTM D-244
Penetración	Este ensayo nos permite medir cuan duro es el residuo asfáltico a la temperatura que se especificada, cuanto más altos son los valores de penetración se tendrá una consistencia más suave.	ASTM T-49

Fuente: Asphalt Institute y Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA), 2001

Para seleccionar el ligante se debe tomar en cuenta que sea compatible con la granulometría de los agregados y la naturaleza, con el que se deberá tener una consistencia de acuerdo a las condición climática del lugar donde se trabaja y una buena adherencia.

El contenido de agua toma mucha importancia en mezclas en frío, un contenido alto de agua favorecerá al mezclado pero es perjudicial para las propiedades mecánicas de la mezcla, ya que afectara de forma negativa a la distribución del ligante y a la densidad final.

➤ *Contenido tentativo del ligante asfáltico*

El contenido tentativo de asfalto es determinado en base al análisis de la granulometría del agregado o de la mezcla de agregados y la capacidad que tienen de absorción de estos.

Se tienen una variedad de métodos para poder determinar el contenido óptimo de emulsión, teniendo como el más empleado el método del instituto del asfalto.

➤ *Método del instituto del asfalto (USA)*

Este método tiene por finalidad la determinación del porcentaje de asfalto residual por peso de la mezcla, iniciamos con la aplicación de la siguiente fórmula que está basado en las características de la granulometría de los agregados:

$$P = 0,05 \times A + 0,1 \times B + 0,5 \times C \times 0,7 \dots \dots \dots \text{ecuación [2]}$$

Del cual:

P: % (\*) por peso de emulsión asfáltica, se basa en el peso del agregado seco.

A: % (\*) del agregado que es retenido en la malla N° 8

B: % (\*) del agregado que pasara la malla N° 8 y se retendrá en la malla N° 200.

C: % (\*) de agregado que va pasar la malla N° 200.

(\*) Se Expresara como número entero

Calculado el valor de la fórmula anterior obtendremos el “contenido estimado de asfalto residual” (C.A.), en la siguiente ecuación.

$$CA = \frac{P \times CARE}{100} \dots \dots \dots \text{ecuación [3]}$$

Del cual:

CARE : Es el contenido de asfalto residual en la emulsión (%)

CA : Es el contenido de asfalto residual total por peso de mezcla (%)

El CA será el punto de partida para la aplicación del método de diseño, con el que se calculara el porcentaje de contenido tentativo del ligante asfáltico en torno al cual se van realizando variaciones que estén dentro del rango de 0,5 % o 1 %.

➤ *Contenido total de agua en la mezcla*

Está dada por la suma de los contenidos de agua en la emulsión, más agua de premezclado y humedad natural.

El contenido de humedad natural, calculado del material mezclado, es la relación entre el peso del agua de una muestra de material y el peso sólido del mismo, expresado en porcentaje.

El contenido del agua de premezclado funciona como el medio para que la emulsión pueda recubrir el agregado y puede ser visualizada mediante un ensayo de recubrimiento.

El contenido del agua va definir la propiedad de densificación de la muestra compactada para lo cual este contenido se debe optimizar en la compactación para así poder maximizar sus propiedades de la mezcla, el contenido de agua es calculado por medio de una curva de valores de estabilidad vs contenido de agua de compactación que se obtienen al ensayar unas muestras preparadas con cada contenido de agua de compactación a ser evaluado, en donde el punto más alto de la curva será el valor óptimo.

➤ *Preparación de muestras*

Se toma como base el contenido de asfalto teórico calculado procedemos a preparar varias probetas de mezclas asfálticas idénticas que tengan diferente contenido de asfalto, podemos observar en la figura 7. La temperatura será normalmente de 25 °C para lo que es mezclado, compactación y ensayo;

teniendo en cuenta siempre que esta temperatura se puede adecuar de acuerdo a las temperaturas probables que se encontraran en los lugares en donde se aplicara esta mezcla.

En la figura 7 se puede observar las probetas de la mezcla asfáltica



*Figura 7.* Probeta de mezcla asfáltica

Fuente: Galván, 2015

#### ➤ Análisis de diseño final y ensayos

Luego del curado de las probetas, estas se someterán a varios tipos de ensayos para que puedan ser evaluadas sus propiedades. Para la determinación del contenido óptimo de asfalto, se grafican los resultados de los ensayos con respecto al contenido de asfalto de cada mezcla. Se considera como contenido óptimo de asfalto al contenido de asfalto residual el cual permite lograr las propiedades deseadas.

En la tabla 16 se muestran los ensayos y análisis que se va a realizar con la finalidad de obtener ciertos datos de las probetas al ser compactadas.

**Tabla 16***Ensayos y análisis del diseño final*

<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Normativa</b>
Densidad Bulk	Es la relación que existe entre el peso de una probeta en el aire y su volumen incluyendo vacío permeables. Es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire	ASTM D-2 726
Estabilidad modificada (en modo seco y saturado)	Mediante el aparato Marshall este ensayo permite determinar la resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica, reflejando que tan estable es la mezcla.	ASTM D-1 559
Perdida de Estabilidad	Determina la pérdida de cohesión de la mezcla acción del agua	ASTM D-1 559
Flujo o Fluencia	Este ensayo permite determinar la deformación de la mezcla por efectos de esfuerzos de compresión diametral y se mide por medio de un dial de deformación vertical.	ASTM D-1 559
Humedad absorbida	Este ensayo permite determinar la cantidad de agua que puede ser absorbida por la mezcla y el peso específico aparente.	ASTM D-1 559
Análisis de densidad y vacíos	Determina la cantidad de bolsas de aire que se encuentra entre las partículas de agregado cubiertas con asfalto, luego de compactada la mezcla	ASTM D-3 203

Fuente: Galván, 2015

Obtenidos estos datos se representan mediante gráficos en donde se conecta cada uno de estos datos con una curva suave que proporcione el mejor ajuste para todos los valores.

➤ *Determinación del contenido óptimo del asfalto.*

Para elegir el valor óptimo nos basamos en los siguientes criterios:

- Cuando se tenga estaciones climáticas húmedas las mezclas debe proporcionar una resistencia adecuada a las cargas de tráfico.
- Si el porcentaje de pérdida de estabilidad de una mezcla que está en condición húmeda es excesiva entonces indica que la mezcla presenta una gran susceptibilidad a la humedad lo que puede causar la desintegración en épocas de estaciones húmedas.
- El total de vacíos deberá encontrarse dentro de un rango aceptable para así poder prevenir la deformación permanente excesiva y la absorción de humedad, o la exudación del asfalto residual de la mezcla.
- Se minimiza el potencial de debilitamiento entre la unión el asfalto residual y el agregado cuando la absorción de humedad en la mezcla no es excesivo
- El asfalto residual deberá ser resistente a la abrasión y proporcionara un recubrimiento al agregado adecuado.

➤ *Especificación técnica*

El instituto del asfalto (2001), establece especificaciones técnicas en cuanto a las mezclas asfálticas en frío con emulsión las cuales deben cumplir un diseño por el método Marshall modificado.

En la tabla 17 se muestra los parámetros de control de calidad para la mezcla.

**Tabla 17**

*Parámetros control de calidad para la mezcla*

<b>Propiedad a evaluar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Estabilidad (kg-f)	2,22	--
Cambio de estabilidad (%)	--	50
Recubrimiento de agregado	50	--

Fuente: Asphalt Institute y Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA), 2001

### **3.2.2. Principales usos de mezclas con emulsión**

Gracias a los avances tecnológicos se tiene la posibilidad de emplear las mezclas con emulsión con una gran variedad de usos y aplicaciones en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos.

- Estas mezclas asfálticas con emulsión pueden utilizarse en la construcción de pavimentos.
- Pueden ser utilizados como una superficie temporal
- Permite que se incremente las resistencias de los materiales que conforman el pavimento para así reducir su espesor total del pavimento.
- Estas mezclas presentan buena flexibilidad y son resistentes a la deformación permanente, además son mezclas de buena calidad para los tráficos muy intensos.

- Pueden ser usadas en superficies de rodamiento que presenten granulometría cerrada.
- Estas mezclas asfálticas con emulsión pueden ser emplearse para mantenimientos de pavimentos y pueden ser diseñados de uso inmediato.
- Estas mezclas asfálticas con emulsión pueden ser empleadas para la rehabilitación de los pavimentos

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

**Primera.** Se realizó el diseño de mezclas asfálticas con emulsión desde un punto de vista general donde se detallará la metodología del diseño desde el control de calidad y selección de materiales, la preparación de muestras, los ensayos a realizar, así como sus especificaciones técnicas.

**Segunda.** Se realizó una revisión del tema mezclas asfálticas para conocer su composición, propiedades y los tipos de mezclas que existen haciendo énfasis en la importancia que éstas tienen en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

**Tercera.** Se realizó una revisión de las emulsiones asfálticas para conocer su clasificación dentro de las cuales se tiene las emulsiones aniónicas y las catiónicas, su nomenclatura, sus características físicas químicas,

composición y almacenamiento, resaltando las ventajas de las emulsiones asfálticas.

**Cuarta.** La utilización de las mezclas asfálticas con emulsión hoy en día es una alternativa económica y de alta calidad, tiene una gran variedad de usos y aplicaciones tanto en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

## 4.2. Recomendaciones

**Primera.** Se recomienda cumplir estrictamente con las especificaciones técnicas, así como también con procedimientos adecuados para el diseño, producción, control de calidad y construcción del pavimento para asegurar su buen comportamiento en el futuro y brindar una mayor seguridad.

**Segunda.** Los agregados conforman el 90 % en peso para mezclas asfálticas y son empleados en combinación con el asfalto, dentro de los agregados con mayor utilización tenemos la piedra, la grava chancada o la grava natural, la arena chancada y la arena natural.

**Tercera.** Cuando se reciba una emulsión en obra se debe comprobar con anticipación el tipo de emulsión así como su calidad, ya que si cumple con las especificaciones requeridas esta emulsión podrá ser almacenada por un tiempo muy largo, si es recirculada sistemáticamente para mantenerla homogénea.

**Cuarta.** Las mezclas asfálticas con emulsión son una nueva alternativa eficaz para la construcción y rehabilitación de vías debida a las ventajas económicas y ambientales que presentan.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rodríguez, R., Castaño, V. y Martínez, M. (2001). *Emulsiones asfálticas* documento técnico N°23. Instituto mexicano del transporte. Recuperado de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
- Rolando, F. (2002). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión*. Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado de [http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1334/ICI\\_076.pdf](http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1334/ICI_076.pdf)
- Crespo, C. (2004). *Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*
- Campos, J. (2008). *Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Recuperado de [http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/campos\\_jc/sources/campos\\_jc.pdf](http://www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/campos_jc/sources/campos_jc.pdf)
- Maila, M. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>
- Huamán, N. (2003). *Manipulación de las MAC en planta y en obra: carretera inter-oceánica*. 48 diapositivas. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Huamán, N. (2006). *Pavimentos asfálticos*. Diplomado Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicación (2013). *Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción eg-2013*. Lima, Perú. Recuperado de

<http://es.slideshare.net/Qharl0s/manual-de-carreteras-especificaciones-tecnicas-generales-para-construccion-eg2013-versin-final-enero-2013>

Galván, L. (2015). *Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica*. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil). Universidad nacional de ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de

[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4384/1/galvan\\_hl.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4384/1/galvan_hl.pdf)

Melchor, A. (2007). *Diseño de mezclas asfálticas*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Asphalt Institute (2001). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas*. Serie N°19 (MS-19)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2002) *Emulsiones Asfálticas en técnicas de Mantenimiento Vial*, Perú.

Bracho, C. (2005). *Emulsiones asfálticas*. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Carrasco, D. (2004). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones Tibias*. Universidad de Piura, Piura, Perú

González, W., Jiménez, M., López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador*. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil). Universidad de el Salvador, El Salvador. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/11227787.pdf>

Rosero, F. (2013). *Bases estabilizadas con emulsión asfáltica para pavimentos (aplicación calle nogales parroquia Nayón l= 1.0 km)*. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil). Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/943/1/T-UCE-0011-33.pdf>