



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA

GUÍA PARA EL DISEÑO
DE MATERIALES GRANULARES
ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



1. Guía de Diseño		2. Copia No.: 1		
3. Título y subtítulo: Procedimiento de Diseño de Mezcla. Guía para el Diseño de Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión		4. Fecha de la guía: Noviembre de 2013		
7. Organización y dirección: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440				
8. Notas complementarias				
9. Resumen <i>En esta guía se resume el procedimiento para laboratorio del diseño de materiales granulares estabilizados con emulsión, en donde se especifican los rangos granulométricos, valores aceptables para límites de plasticidad y la resistencia a la tensión diametral mínima para obtener un adecuado desempeño en campo.</i>				
10. Palabras clave Contenido óptimo de humedad, emulsión, material granular, recubrimiento, tensión diametral, bases estabilizadas.	11. Nivel de seguridad		12. Núm. de páginas 24	
13. Preparado por		14. Revisado por		15. Aprobado por
Ing. Andrea Ulloa Calderón Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA-LanammeUCR	Juan Carlos Múnera Técnico Laboratorio de Infraestructura Vial LanammeUCR	Ing. Fabián Elizondo, MBA Coordinador Laboratorio de Infraestructura Vial LanammeUCR	Ing. José Pablo Aguiar, PhD. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA-LanammeUCR	Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD. Coordinador General PITRA-LanammeUCR
Fecha: 05 / 11 / 13	Fecha: 05 / 11 / 13	Fecha: 05 / 11 / 13	Fecha: 05 / 11 / 13	Fecha: 05 / 11 / 13

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA

GUÍA PARA EL DISEÑO
DE MATERIALES GRANULARES
ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN

Los materiales para pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica son materiales granulares sometidos a un tratamiento para aumentar su resistencia al cortante y reducir su susceptibilidad al daño por humedad. Los materiales sometidos a este tratamiento son normalmente materiales granulares, capas de mezcla asfáltica recuperada (RAP), que pueden estar tratados con dosificaciones bajas de cemento para reducir su plasticidad.

Este guía se enfoca en el diseño en laboratorio de materiales granulares estabilizados con emulsión asfáltica a utilizar como base en una estructura de pavimento. El procedimiento de diseño analiza las características de una mezcla en cuanto su trabajabilidad recubrimiento, adhesión, susceptibilidad al daño por humedad y su resistencia.

El procedimiento de diseño se basa inicialmente en la caracterización del material granular para determinar si este es adecuado para ser estabilizado con emulsión, posteriormente se evalúa la emulsión asfáltica a utilizar para que tenga condiciones mínimas de trabajabilidad, recubrimiento y adherencia.

Las propiedades mecánicas del material se evalúan mediante especímenes elaborados a través el método de compactación Marshall variando el porcentaje de emulsión para determinar la resistencia a la tensión diametral de especímenes condicionados y sin condicionar esto con el objetivo de determinar un contenido óptimo de emulsión que cumpla con requisitos mínimos de resistencia a la tensión diametral y un porcentaje de resistencia retenida luego de un proceso de acondicionamiento en agua.

1.1 Materiales

Los materiales a estabilizar como capa de base se caracterizan por ser materiales granulares, material reciclado o una mezcla de ambos, con granulometrías continuas con poco o ninguna plasticidad. Las emulsiones asfálticas utilizadas en esta técnica son de rompimiento lento o controlado (por ejemplo CSS, SS, CQS) que garanticen una adecuada trabajabilidad, recubrimiento y adherencia. Las cantidades de asfalto residual aplicado típicamente no exceden el 3 % sobre la masa de agregado seco.

Cuando el material no cumple con índices de plasticidad especificados o es deficiente en finos puede ser mejorado mediante la adición de relleno mineral en forma de cemento, cal hidratada u otro material que pase en un 100% la malla No. 200, sin embargo, este contenido de relleno mineral no debe exceder el 1 % en el caso de utilizarse cemento y 1,5% en el caso de cal; dado que un porcentaje mayor añadido afecta negativamente las propiedades de fatiga en la capa estabilizada.

1.1.1 Base granular

a. Antes de iniciar con los ensayos sobre el material a estabilizar con emulsión asfáltica, se debe caracterizar este material con los siguientes ensayos.

Límites de Atterberg (AASHTO T 89, T 90)

Tabla 1. Especificaciones para límites de Atterberg

Ensayo	Material	Especificación (Para capa de base designado a tránsito < 6 Millones de ESALs)	No aceptable
Índice de plasticidad IP	Piedra Picada	>10	> 7
	Grava natural	6-12	
	Suelo Gravoso	>11	
	Arenas o Limos arcillosos	-	

CBR (AASHTO T 193)

Tabla 2. Especificaciones para CBR

Ensayo	Material	Especificación (Para capa de base designado a tránsito < 6 Millones de ESALs)	No aceptable
CBR	Piedra Picada	25-80	< 10
	Grava natural	>25	

Proctor modificado (AASHTO T 180)

Granulometría (AASHTO T 27, T11)

Tabla 3. Especificaciones para porcentaje de finos

Ensayo	Material	Especificación (Para capa de base designado a tránsito < 6 Millones de ESALs)	No aceptable
Pasando la malla No. 200 (0,075mm)	Grava natural	5-25	> 40
	Suelo Gravoso	5-20	> 30

b. El material granular sin tratar debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 4. Especificaciones para granulometría

Tamiz (mm)	Porcentaje pasando (%)	
	Granulometría Ideal	Granulometría aceptable
50	100	
37,5	87-100	
26,5	77-100	100
19,0	66-99	99-100
13,2	67-87	87-100
9,5	49-74	74-100
6,7	40-62	62-100
4,75	35-56	56-95
2,36	25-42	42-78
1,18	18-33	33-65
0,600	12-27	24-54
0,425	10-24	24-50
0,300	8-21	21-43
0,150	3-16	16-30
0,075	2-9	9-20

Fuente: Asphalt Academy, 2009

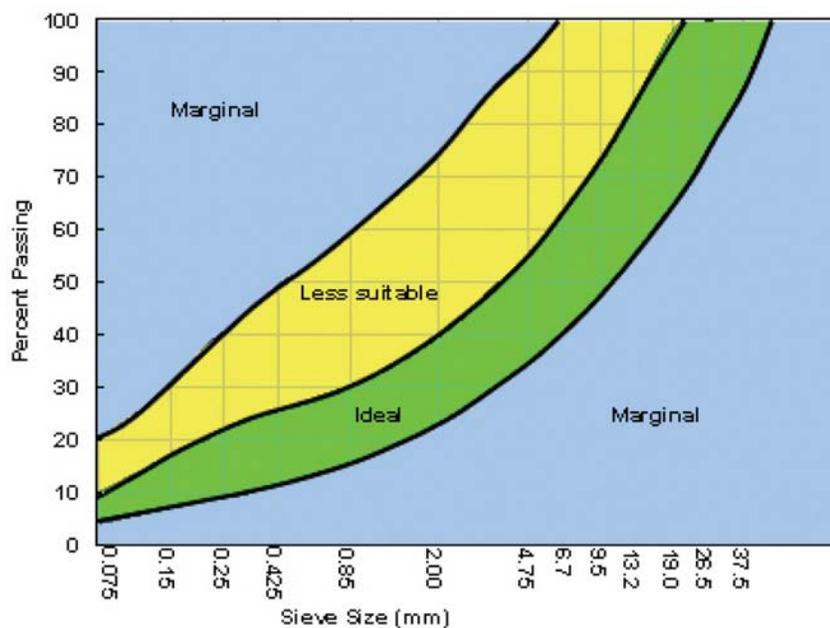


Figura 1.

Bandas granulométricas

Fuente: Asphalt Academy, 2009

Nota 1: si el índice de plasticidad es mayor a 7, la base debe ser previamente tratada con cemento o cal hidratada, sin exceder 1 % sobre peso de agregado de ser cemento, y 1,5 % de ser cal hidratada.

Para el diseño en laboratorio las muestras del material granular deben ser reducidas por cuarteo, y eliminarse los sobre tamaños que se retienen en la malla 19 mm (3/4"), sin embargo, debe realizarse la sustitución de ese peso en la malla 12,5 mm (1/2"), para balancear la granulometría eliminada.



Fotografía 1.

Reducción por cuarteo y tamizaje del material y sustitución del material retenido en la malla 19mm (3/4") en la malla 12,5 mm (1/2").

1.1.2 Emulsión asfáltica

a. La emulsión asfáltica que se utiliza típicamente es de catiónica de rompimiento lento (CSS-1, CSS-1h); sin embargo, para aquellos materiales granulares que no son compatibles con este tipo de emulsiones, se deberán usar las emulsiones aniónicas de rompimiento lento. Ambas emulsiones tienen tiempos prolongados de trabajabilidad que aseguran una buena dispersión sobre el material, esto debido a su estabilidad. Pero también se han adoptado las emulsiones de rompimiento acelerado o quickset (CQS) por su reducción en tiempos de curado y rápida ganancia de cohesión, repercutiendo en tiempos de apertura al tránsito más cortos.

Por lo que es indispensable realizar las pruebas de recubrimiento y adherencia para garantizar una adecuada trabajabilidad y desempeño en el campo.

b. La emulsión asfáltica se debe caracterizar según los siguientes ensayos:

- Viscosidad Saybolt-Furol a 25 °C (AASHTO T 59).
 - Estabilidad al almacenamiento a 24 h (AASHTO T 59)
 - Destilación, residuo (AASHTO T 59)
 - Malla N °20 (AASHTO T 59)
 - Penetración a 25 °C (AASHTO T 49)
 - Ductilidad a 25 °C (AASHTO T 51)
 - Solubilidad en tetracloroetileno (AASHTO T 44)
 - Distribución y tamaños de partículas
- La emulsión asfáltica debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 5. Especificaciones para emulsión asfáltica

Ensayo	Especificación		
	CSS	SS	CQS
Viscosidad Saybolt-Furol A 50 °C, SFS	20-100	20-100	20-100
Estabilidad al almacenamiento a 24 h,%	1 % máx.	1 % máx.	-
Malla Nº 20	0,10 % máx.	0,10 % máx.	0,10 % máx.
Distribución y tamaños de partículas	< 10 µm	< 10 µm	< 10 µm
Destilación, residuo, %	57 mín.	57 mín.	57 mín.
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s	40-90	40-90	40-90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm	40 min	40 min	40 min
Solubilidad en tetracloroetileno	97,5 min	97,5 min	97,5 min

Fuente: Manual de Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, Sección 702.03.

1.1.3 Agua

El agua debe ser potable, libre de materiales deletéreos, como: ácido, aceite, álcali, materia orgánica, sal, azúcar, u otros materiales peligrosos. (MnDOT, 2010).

1.1.4 Filler

a. Los tipos de filler utilizados en estabilizaciones con asfalto son: cemento, cal hidratada y polvo mineral. Los filler activos alteran químicamente las propiedades de la mezcla (cemento, cal hidratada, ceniza). El propósito del filler es: mejorar la adhesión del asfalto con el agregado, mejorar la dispersión del asfalto en la mezcla, modificar la plasticidad de materiales naturales (reducir IP), aumentar la rigidez de la mezcla y ganar resistencia, acelerar el curado de la mezcla compactada. (Asphalt Academy, 2009)

b. Cuando se utiliza cemento, la tasa de aplicación debe limitarse a un máximo de 1% en masa del agregado seco. Cuando se usa cal hidratada, la tasa de aplicación se puede incrementar a 1,5% o más en donde se requiere modificar la plasticidad (cuando hay un pretratamiento con cal la mezcla se debe dejar reposando 4 horas antes de agregar emulsión asfáltica). Sin embargo, hay que señalar que hay un aumento de la rigidez de la mezcla y la flexibilidad se ve comprometida. Por encima de estas tasas de aplicación, el beneficio del asfalto deja de ser importante. (Asphalt Academy, 2009)

2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA

2.1 Contenido total de fluidos

Cuando se trabaja con emulsiones asfálticas, el “Contenido Total de Fluidos” es utilizado con base en el Contenido Óptimo de Humedad, definido de la relación humedad/densidad. La densidad máxima se alcanza con el contenido óptimo de humedad, el cual es el resultado de la combinación del agua en el material granular, el agua contenida en la emulsión asfáltica, más el agua adicionada. Tanto los componentes del agua como del asfalto de una emulsión actúan como un lubricante para ayudar a la compactación. (Figura 1)

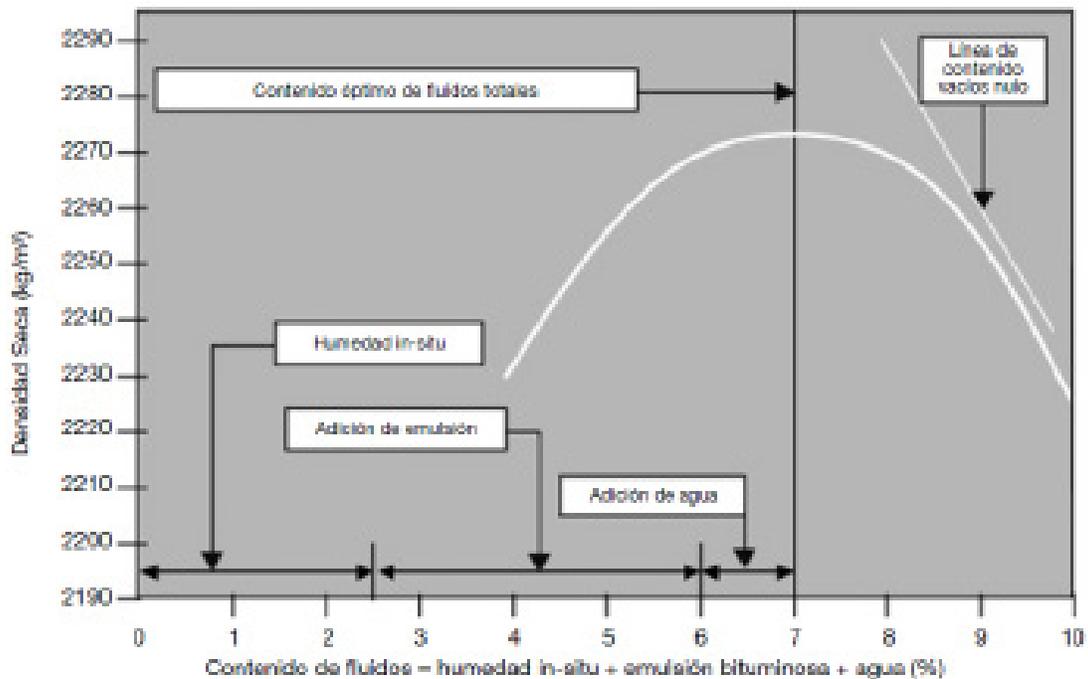


Figura 2.

Contenido de fluidos totales
Fuente: Wirtgen Group

Inicialmente se debe determinar el contenido de humedad que posee el material granular a estabilizar. La cantidad de agua que se adiciona será igual al contenido óptimo de humedad obtenido del ensayo de la relación humedad-densidad (Proctor) menos el porcentaje de agua en la emulsión y el porcentaje de humedad en el material. Por ejemplo:

Porcentaje óptimo de humedad (Próctor) =	5,0 %
Porcentaje de humedad en agregado =	-1,0 %
Porcentaje de agua en la emulsión, con respecto al contenido de emulsión total en la mezcla=	-2,0 %
Porcentaje de agua a adicionar =	2,0 %

Nota: No se está considerando el porcentaje del asfalto residual (asfalto dentro de la emulsión con respecto al contenido de emulsión total en la mezcla)

2.2 Ensayos preliminares: Recubrimiento y Adhesión

La evaluación preliminar de la emulsión asfáltica que se utilizará en el diseño implica la realización de los ensayos de recubrimiento y adhesión. Se ensaya una mezcla de prueba con el material a estabilizar y una cantidad de emulsión asfáltica y agua. El porcentaje de emulsión que se utiliza puede estar dentro de un rango de 2 % a 3 % sobre el peso total de agregado seco. La cantidad de agua se calcula como en el apartado anterior.

2.2.1 Procedimiento para el ensayo de recubrimiento

1. Pesarse la cantidad equivalente de 500 g de agregado seco (500 g + humedad del material) en un recipiente de mezclado rectangular.



Fotografía 2.

Pesaje de 500 g de material, con la granulometría sustituida y corregida.

2. Agregar la cantidad de agua requerida para obtener el contenido óptimo de fluidos totales y mezcle entre 30 s y 60 s, hasta obtener una mezcla homogénea.



Fotografía 3.

Adición de agua y homogenización del material

3. Agregar la mitad de la emulsión requerida para obtener el contenido óptimo de fluidos totales y mezcle suavemente por 2,5 min. Seguidamente, deje reposar la mezcla por 30 segundos, y adicione la otra mitad de la emulsión para completar la totalidad de fluidos, después mezcle nuevamente por 60 s de manera más vigorosa.



Fotografía 4.

Adición de emulsión en dos partes y el mezclado para el recubrimiento del material

4. Coloque el recipiente con la mezcla de prueba en el horno durante 24 horas a 60°C, para eliminar el agua de la mezcla.

5. Luego contabilice visualmente el grado de recubrimiento. Para ello se debe confeccionar una lámina de papel plástico en la que se dibuja una cuadrícula de 320 cuadros de 2,5 cm x 2,5 cm. Posteriormente, se coloca la mezcla en una superficie plana y por encima la lámina plástica, de manera que la mezcla quede extendida y sea cubierta en su totalidad por la lámina, como se muestra en la fotografía 5. Finalmente, se determina en cada cuadro si el recubrimiento es 0% o 100% (No o Sí, respectivamente), obteniendo el porcentaje de recubrimiento como: el número total de cuadros en que hay recubrimiento entre 320 cuadros.

$$\% \text{Recubrimiento} = \frac{\text{Número de cuadros 100\% recubrimiento}}{320} \times 100$$



Fotografía 5.

Contabilización del recubrimiento del agregado con la emulsión asfáltica

6. El recubrimiento de la mezcla debe ser lo más cercano a 100 %, sin embargo, se considera aceptable un recubrimiento de al menos un 60 %.

7. Si el ensayo de recubrimiento no es satisfactorio, se debe cambiar la formulación de la emulsión.

2.2.2 Procedimiento para el ensayo de adhesión

1. De la muestra del ensayo de recubrimiento se extraen 100 g, mediante la reducción por cuarteo como se muestra en la fotografía 6.



Fotografía 6.

Reducción por cuarteo de la mezcla ya curada en submuestras de 100 g.

2. Después, esta submuestra se coloca en un beaker de 600 ml con 400 ml con agua hirviendo, agitar la muestra con un agitador mientras el agua se encuentra en ebullición, a una velocidad de una revolución por segundo, durante aproximadamente 3 minutos.



Fotografía 7.

Agitar la muestra en agua hirviendo durante 3 minutos.

3. Posterior a los 3 minutos, se deja enfriar el beaker con su contenido por unos segundos.



Fotografía 8.

Dejar enfriar por unos segundos la muestra.

4. Luego se decanta el agua y se coloca la mezcla sobre una toalla de papel absorbente o periódico. Ver fotografías 9 y 10.



Fotografía 9.

Decantar el residuo de asfalto desprendido, sin perder parte del material.



Fotografía 10.

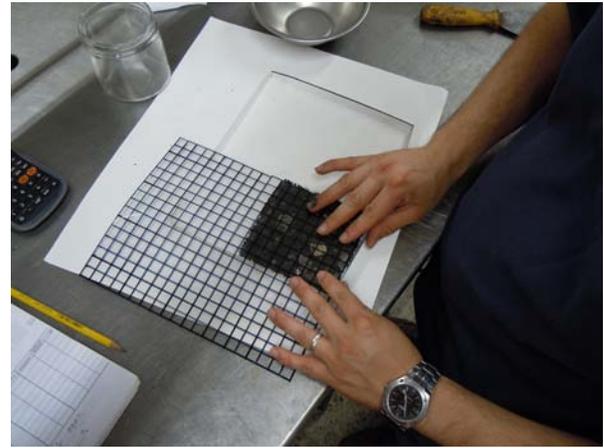
La mezcla decantada se coloca en papel periódico y se deja con un abanico hasta que seque

5. Finalmente, después de que la mezcla se ha secado, visualmente se evalúa el grado de desnudamiento de asfalto, ver fotografía 11. Para ello utilice una lámina plástica con cuadrícula, igual a la del ensayo de recubrimiento, con la diferencia que esta será de 80 cuadros, con las mismas dimensiones (2,5 x 2,5) cm. Fotografía 12.



Fotografía 11.

Visualmente obtener las diferencias en la adherencia del asfalto por efecto del desnudamiento al someterse en agua hirviendo.



Fotografía 12.

Contabilizar porcentualmente el desnudamiento

6. El recubrimiento debe ser lo más cercano a 100 %, sin embargo, se considera aceptable un recubrimiento de al menos un 60 %. Esto se repite para garantizar posteriormente una adecuada adhesión.

7. Si el ensayo de recubrimiento no es satisfactorio, se debe considerar el cambio del tipo de emulsión que se está utilizando, una adherencia poco satisfactoria es indicativo de que no hay una buena compatibilidad entre la emulsión y el agregado. Por lo tanto, en este tipo de situaciones se cambia el tipo de emulsión (catiónica o aniónica), o se incorpora un promotor de adherencia a la emulsión o al asfalto.

2.3 Elaboración de especímenes para ensayo de tensión diametral

Una vez que se selecciona la emulsión que cumple con el recubrimiento y la adherencia deseada, se elaboran los especímenes para el ensayo de tensión diametral, como se describe a continuación:

Elaborar al menos 6 especímenes, por medio de compactación Marshall (AASHTO T 245) a 75 golpes por cara, para cada % de asfalto residual sobre peso de agregado seco (2,0, 2,5, 3,0, 3,5).

1. Mezclar el material granular con el agua respectiva hasta que quede homogéneo, luego se mezcla lentamente por 30 s con la mitad de la emulsión, dejando reposar la mezcla por 15 s, nuevamente se mezcla la otra mitad de la emulsión para completar la totalidad de fluidos por 30 s vigorosamente, finalmente se compacta el espécimen en el mazo Marshall.



Fotografía 13.

Mezclado y compactación de material con los fluidos totales para la conformación de especímenes Marshall

2. Pesarse material suficiente para alcanzar una altura de compactación de $(63,5 \pm 1,5)$ mm, (usualmente 1150 g). Se recomienda hacer pruebas con 1140 g, 1150 g y 1160 g para interpolar la cantidad de material para la altura requerida (Figura 2).

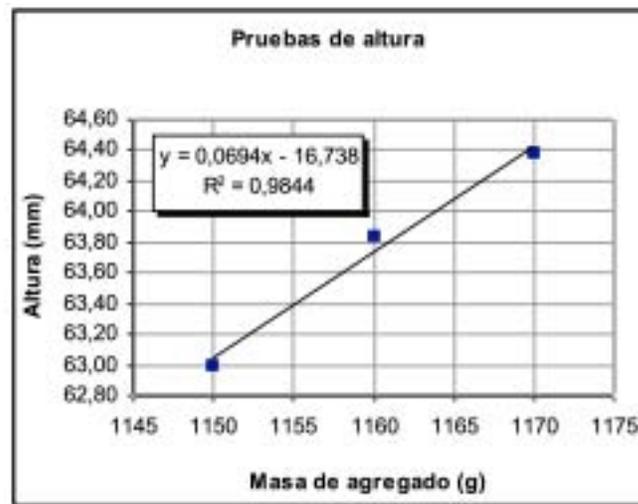


Figura 3.

Pruebas de altura

Nota: los baches se cuarteán en condición húmeda, con un porcentaje de humedad inferior al óptimo. Esto con el objetivo de evitar la pérdida de finos.

3. Agregar la cantidad de agua requerida para obtener el contenido óptimo de fluidos totales y se mezcla por 60 s hasta obtener una mezcla homogénea.

4. Agregar la cantidad mitad de la emulsión requerida para obtener el contenido óptimo de fluidos totales y mezclar a una velocidad de 40 rpm aproximadamente por 30 s. Seguidamente, se deja reposar la mezcla por 15 segundos, y después se mezcla nuevamente a una velocidad de 100 rpm por 30 s.

2.3.1 Compactación de especímenes

1. Preparar el molde y mazo Marshall limpiando el molde, collar, plato base y la cara de compactación del mazo. Colocar filtro de plástico en el fondo del molde.

Nota: El equipo de compactación debe mantenerse a temperatura ambiente.

2. Colocar la mezcla en el molde y dar 15 espátulazos alrededor del perímetro del molde y 10 en el centro, acomode la mezcla de la parte superior de manera que quede en forma de cono, se debe asegurar colocar un filtro de plástico.



Fotografía 14.

Compactación de especímenes Marshall.

3. Compactar el material aplicando 75 golpes por cara con el compactador Marshall.

2.3.2 Curado de especímenes

1. Después de compactar el espécimen, quitar el collarín y el plato base, y sin remover el espécimen del molde, dejar en el molde por aproximadamente 24 h a temperatura ambiente.

2. Posterior a las 24 horas se debe remover cuidadosamente los especímenes de los moldes.

3. Con cuidado se colocan los especímenes en una bandeja plana y lisa y cure por 72 h a 40 °C en horno.



Fotografía 15.

Curado por 72 horas a 40 °C

2.3.3 Densidad bruta

Después del curado, se dejan enfriar los especímenes a temperatura ambiente.

Determinar las dimensiones de los especímenes compactados, altura y diámetro. Posteriormente, se determina la gravedad específica bruta (AASHTO T 166).



Fotografía 16.

Determinación de la densidad del material compactado

2.3.4 Determinación de resistencia a la tensión indirecta ITS (AASHTO T 283)

1. Después de determinar la densidad de los especímenes, dividir los especímenes en dos subgrupos: sin acondicionar y acondicionado, para ello se puede tomar los tres primeros especímenes y considerarlos como secos, por los restantes serán los acondicionados.

2. Sumergir el subgrupo acondicionado en un baño de agua a 25 °C por 24 h. Dos horas antes de cumplir el periodo de 24 h de los especímenes acondicionados, los especímenes secos envueltos en papel parafilm y en bolsas plásticas en el mismo baño se deben colocar.

Nota: la envoltura de los especímenes secos se puede sustituir por doble bolsa de manera que no penetre el agua.



Fotografía 17.

Acondicionamiento de especímenes

3. Determinar la resistencia a la tensión indirecta de los especímenes secos y acondicionados a 25 °C.



Fotografía 18.

Falla a la tensión diametral de todos los especímenes

4. Calcule el ITS de cada espécimen con aproximación de 1 kPa.

$$ITS = \frac{2000 \times P}{\pi \times h \times d}$$

Donde,

ITS = resistencia a la tensión indirecta, kPa

P = carga máxima, N

h = altura del espécimen, mm

d = diámetro del espécimen, mm

5. La razón de resistencia retenida TSR, es la relación entre el promedio de ITS seco y el promedio de ITS saturado, se expresa como porcentaje usando la siguiente ecuación:

$$TSR = \frac{ITS_{saturado}}{ITS_{seco}} \times 100$$

6. Después de la falla, coloque los especímenes en un horno a 110 °C y determine el porcentaje de humedad remanente en las pastillas.

2.3.5 Determinación del contenido óptimo de asfalto

Los resultados de los ensayos ITS seco e ITS saturado son graficados con respecto al contenido de asfalto. El contenido de asfalto es aquel que permite alcanzar los resultados mínimos de resistencia y porcentaje de resistencia retenida, los cuales se especifican en la siguiente tabla.

Ensayo	Especificación
Resistencia (sin acondicionar), kPa	276 min
Resistencia (acondicionado), kPa	173 min
Porcentaje de resistencia retenida, %	70

Fuente: Road Science, 2012

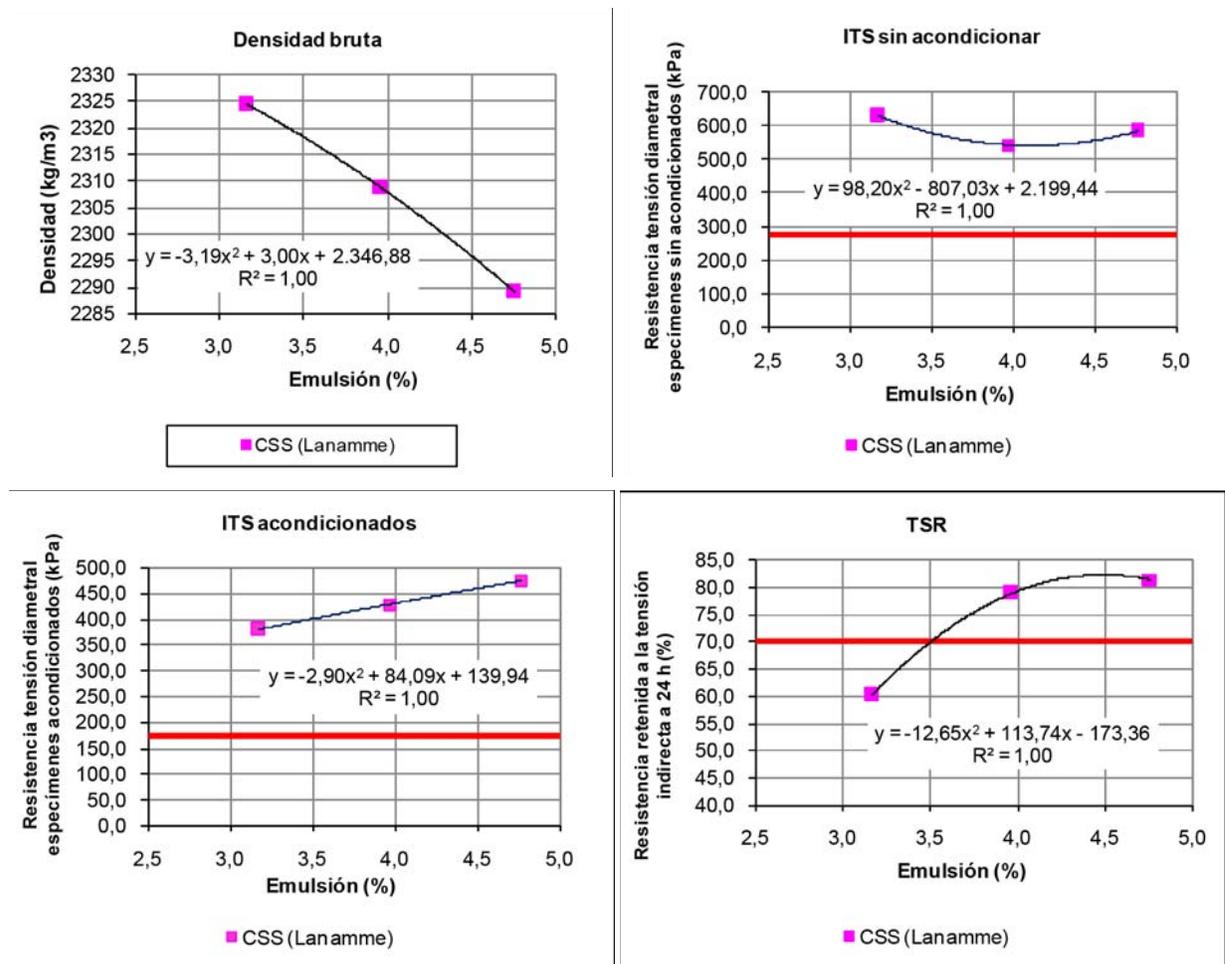


Figura 4.

Gráficas de diseño de una base estabilizada con emulsión asfáltica.

Fuente: LanammeUCR

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012.
- Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, 2010.
- Asphalt Academy, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.
- Proposal for Highway Construction and Maintenance Projects S.P. 0413-33, Minnesota Department of Transportation, 2010.
- Manual de Reciclado en Frío, Wirtgen Group, 2004.
- Full Depth Reclamation Using Asphalt Emulsion – Job Mix Formula Preparation, South Carolina Department of Transportation, 2008.
- Laboratory tests: Method 10 Preparations of Field Specimens, Asphalt Academy, <http://www.asphaltacademy.co.za/bitstab.php>



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

