

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN AFIRMADO ESTABILIZADO CON  
EMULSIÓN ASFÁLTICA, APLICACIÓN: CARRETERA CAÑETE – CHUPACA

TESIS

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DENNIS ROBERTO DE LA CRUZ SALCEDO

LIMA – PERÚ

2010

<b>RESUMEN</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FOTOS</b>	<b>8</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.</b>	
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. Objetivo general.	12
1.2.2. Objetivos específicos.	12
1.3. EMULSIONES ASFÁLTICAS	12
1.3.1. Química de las emulsiones asfálticas.	12
1.3.1.1. Clasificación de las emulsiones asfálticas.	13
1.3.1.2. Rotura y curado	15
1.3.2. Almacenamiento, manipulación y muestreo.	17
1.3.2.1. Almacenamiento de las emulsiones asfálticas.	17
1.3.2.2. Manipulación de las emulsiones asfálticas	18
1.3.2.3. Muestreo de las emulsiones asfálticas	19
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	20
1.4.1. Ubicación y descripción.	20
1.4.2. Características ambientales.	22
1.4.3. Organización política.	23
1.4.4. Descripción del problema.	23
1.4.5. Características de los suelos.	24



**CAPÍTULO 2. CARACTERIZACION DEL SUELO CON FINES DE ESTABILIZACION.**

2.1.	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.	27
2.2.	PORCENTAJE PASANTE DE LA MALLA N°200.	29
2.3.	LÍMITES DE ATTERBERG E ÍNDICE PLÁSTICO.	30
2.4.	FINOS PLÁSTICOS EN LOS SUELOS Y AGREGADOS MEDIANTE EQUIVALENTE DE ARENA.	31
2.5.	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO – ENSAYO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.	31
2.6.	CONTENIDO DE HUMEDAD	32
2.7.	SALES SOLUBLES TOTALES	33
2.8.	ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO	33
2.9.	CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.	34
2.10.	CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR	34

**CAPITULO 3. CARACTERIZACION DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL ESTABILIZADOR**

3.1.	ENSAYOS A LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	36
3.1.1.	Carga partícula.	36
3.1.2.	Viscosidad: Saybolt Furol a los 25°C.	37
3.1.3.	Estabilidad de almacenamiento; sedimentación a los 5 días.	37
3.1.4.	Residuo por evaporación.	37
3.1.5.	Tamizado: retenido T20 (850mm).	38
3.1.6.	Rotura: mezcla con cemento.	38
3.2.	ENSAYOS AL RESIDUO ASFÁLTICO.	38
3.2.1.	Penetración (25°C, 100gr, 5 seg)	39
3.2.2.	Ductibilidad (25°C, 5cm/m) cm	39
3.2.3.	Solubilidad en Tricloroetileno	39

## **CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MEZCLA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CON EL AGREGADO EN MEZCLA DE GRANULOMETRÍA CERRADA.**

<b>4.1.</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN.</b>	<b>40</b>
<b>4.2.</b>	<b>ENSAYO DE RECUBRIMIENTO Y ADHERENCIA.</b>	<b>41</b>
	4.2.1. Procedimiento del ensayo de recubrimiento.	41
	4.2.2. Procedimiento para el ensayo de adherencia.	42
<b>4.3.</b>	<b>ELABORACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA.</b>	<b>47</b>
	4.3.1. Procedimiento de mezclado.	47
	4.3.2. Procedimiento de compactación.	47
<b>4.4.</b>	<b>ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES COMPACTADOS – PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS.</b>	<b>48</b>
	4.4.1. Densidad bruta.	49
	4.4.2. Porcentaje de vacíos.	50
	4.4.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM).	51
	4.4.4. Vacíos ocupados con asfalto.	53

## **CAPITULO 5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DESEMPEÑO DEL AFIRMADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.**

<b>5.1.</b>	<b>CAPACIDAD DE SOPORTE.</b>	<b>54</b>
<b>5.2.</b>	<b>ESTABILIDAD BAJO EL AGUA.</b>	<b>57</b>
<b>5.3.</b>	<b>COMPORTAMIENTO ANTE LA HUMEDAD</b>	<b>62</b>
<b>5.4.</b>	<b>DURABILIDAD ANTE LA ABRASIÓN</b>	<b>62</b>
<b>5.5.</b>	<b>OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES CON LA VIGA BENKELMAN.</b>	

64

<b>CAPITULO 6. ANALISIS Y EVALUACION ECONÓMICA DE LA ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.</b>	<b>68</b>
---	-----------

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
---------------------	-----------

<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>72</b>
------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>A.1. CERTIFICADOS DE ENSAYOS EN EMULSIÓN Y RESIDUO ASFÁLTICO, DE EMPRESA BITUPER</b>	<b>75</b>
<b>A.2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO - UNI</b>	<b>82</b>
<b>A.3. NORMA ASTM D 2397 – ENSAYOS EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS Y RESIDUO ASFÁLTICO.</b>	<b>111</b>
<b>A.4. REGISTRO FOTOGRAFICO</b>	
<b>4.1 Registro fotográfico de ensayos de laboratorio</b>	<b>113</b>
<b>4.2 Registro fotográfico en campo</b>	<b>117</b>

## RESUMEN

La presente tesis comprende la evaluación del comportamiento estructural y de estabilidad de un afirmado estabilizado con emulsión asfáltica. El afirmado a evaluar es de la cantera ubicada en el km 222+200 de la carretera Cañete – Dv. Yauyos – Chupaca, la cual es una carretera de bajo volumen de tránsito.

Para el trabajo de estabilización se ha hecho uso de la emulsión CSE – 1h (Emulsión catiónica Superestable de rotura lenta) de la empresa Bituper.

El empleo de esta emulsión otorga al suelo una mayor estabilidad frente a la acción del agua, así como también ante los demás agentes erosivos, reduciendo considerablemente la pérdida de finos y aumentando el índice serviciabilidad de la vía y su tiempo de vida útil.

En los capítulos 2 y 3, se caracterizarán el agregado y la emulsión respectivamente, mediante la realización de diversos ensayos y evaluando las influencias de los resultados, en el comportamiento del afirmado estabilizado.

En el capítulo 4 se hacen las evaluaciones preliminares, ensayo de recubrimiento y adherencia, para la preparación de las probetas de prueba, se plantea el procedimiento de preparación de las probetas y se evalúan algunos parámetros volumétricos en los especímenes compactados.

En el capítulo 5 diversas pruebas: CBR, Marshall, muestran el mejoramiento que produce el uso del aditivo en el material; encontrándose que la mejor proporción de emulsión es de 4% con respecto al peso seco del material a estabilizar.

En el capítulo 6 se evalúa los costos donde cabe acotar que el costo aproximado de esta alternativa es de s/.14.31 por metro cuadrado, pero teniendo en cuenta que el material que se ha estabilizado ha sido de material de préstamo.

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento y la adecuación de la red de carreteras del país se consideran pilares básicos del desarrollo nacional y forman parte de los planes para la preservación de los patrimonios viales de la nación.

La presente tesis se desarrolla en una carretera de bajo volumen de tránsito y estos constituyen una parte importante de la red vial del Perú presentando una gran variedad de estándares tanto geométricos como en la calidad de su superficie de rodadura.

En tal sentido se sabe que hacer uso de la técnica de la estabilización es una buena práctica para obtener vías en mejores condiciones de transitabilidad. La estabilización no es una herramienta de uso reciente; desde ya hace mucho tiempo existen muchos métodos de estabilización.

Con la finalidad de incrementar más el conocimiento en este tema, es que a continuación se presenta una investigación de la estabilización de un suelo con emulsión asfáltica; la cual, actualmente viene siendo usada a gran escala por su buena afinidad con algunos suelos y por su poca contaminación ambiental. En esta investigación se han realizado ensayos de laboratorio tanto al suelo como a la emulsión y a la mezcla de los dos, para conocer las mejoras de las propiedades del suelo, además se ha realizado ensayos de campo con la finalidad de comparar valores de laboratorio con el campo.

## CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de mejorar las condiciones de transitabilidad en Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, actualmente se están enfocando los trabajos a la estabilizaciones de las diferentes capas de la estructura del pavimento, así como también a la sub rasante con el fin de mejorar el comportamiento esfuerzo – deformación del suelo. Esto ha contribuido a mejorar la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o comprensibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, la durabilidad ante el intemperismo, entre otros.

En el caso de estabilización en Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito; el cual es el tipo de vía donde se desarrolla la presente tesis; se ha realizado generalmente con cemento, cal y otros aditivos químicos y orgánicos; en los cuales es difícil evaluar los mecanismos de estabilización y predecir su desempeño a largo plazo debido a su composición química que posee, por tal motivo y con el fin de conocer más acerca del uso de estos productos se han realizado algunas investigaciones de tesis de grado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, como es el caso de las tesis: "Mejoramiento de caminos no pavimentados en el departamento de Huánuco mediante la estabilización de suelos comparando el estabilizador orgánico Perma – zyme y el Probase TX – 55" del Ingeniero Miguel Ángel Ballarín Zavala y "Aplicación del aditivo Quim KD40 para estabilizar suelos en caminos no pavimentados" de la Ingeniera Nohelia Thais La Rosa Orbezo, entre otros.

Debido al aumento significativo del uso de las emulsiones asfálticas para mejorar las propiedades de las diversas capas de un pavimento, se ha planteado utilizarlo en el Proyecto "Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zuñiga DV. Yauyos – Ronchas" para estabilizar un afirmado que tendrá un mejor desempeño y durabilidad como capa de rodamiento. En el proyecto en mención se desarrollará la presente tesis.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo general

Dar a conocer el concepto de estabilización de suelos con emulsión asfáltica y nombrar las alternativas de mejoramiento de las propiedades del suelo.

### 1.2.2. Objetivos específicos.

- ❖ Evaluar con que dosificación de la emulsión asfáltica se logra tener mejores resultados.
- ❖ Dar a conocer el proceso constructivo para la aplicación de emulsiones asfálticas.
- ❖ Evaluar las mejoras de las propiedades de este suelo empleando emulsiones asfálticas.

## 1.3. EMULSIONES ASFÁLTICAS

### 1.3.1. Química de las emulsiones asfálticas

Una emulsión asfáltica consiste de 3 ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos como estabilizadores, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura.

El cemento asfáltico es el elemento básico de la emulsión asfáltica y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión. Si bien la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar, la mayoría de emulsiones es hecha con asfaltos con un rango de penetraciones 60 – 250.

El segundo componente es el agua. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no debe ser minimizada. Preocupa particularmente la presencia de iones de calcio y de magnesio, los cuales son favorables para las emulsiones catiónicas y desfavorables para las emulsiones aniónicas. El uso de aguas impuras

puede resultar en un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar en forma adversa la performance o causar una rotura prematura.

El agente emulsivo es, de los componentes individuales de la emulsión asfáltica, el más importante y las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de este. El emulsivo es un agente tensio – activo o surfactante. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura.

El objetivo del agente emulsivo es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en el agua, suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado, y mezclada. La emulsión debe romper rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador, o tras ser distribuida sobre la cancha; rotura es la separación del agua del asfalto. Al curar, el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

#### 1.3.1.1. Clasificación de las emulsiones asfálticas

Se clasifican en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónica. Las denominaciones aniónicas y catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de las carreteras.

Una segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotitas de asfalto coalescen, esto es, se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico. Los términos **RS** (rotura rápida), **MS** (rotura media), **SS** (rotura lenta) y **QS** (rotura rápida QS) han sido adoptados para simplificar y normalizar esta clasificación. La tendencia a coalescer está íntimamente relacionada con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe tras entrar en contacto con la superficie del agregado. Una emulsión **RS** tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados; es de esperar de una emulsión **MS** que se mezcle con el agregado grueso y no se mezcle con el agregado fino; y las emulsiones **SS** y **QS** se diseñan para mezclarse con agregados finos, esperándose que la **QS** rompa más rápidamente que la **SS**.



Finalmente, las emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y a la consistencia de la base de cemento asfáltico. La letra "C", encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión catiónica. La ausencia de la "C" identifica a las emulsiones aniónicas.

Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión. La "h" incluida en algunos grados significa simplemente que la base asfáltica es más consistente (o dura). La "S" significa que la base asfáltica es más blanda.

Las letras "HF" que preceden a algunos de los grados de emulsiones aniónicas indican alta flotación, medida en el ensayo de flotación. Las emulsiones de alta flotación tienen las características de gel, impartidas por la adición de ciertas sustancias químicas; estas características permiten la formación de una película de asfalto más gruesa alrededor del agregado, impidiendo la separación del asfalto de las partículas del árido. Estos grados de emulsiones se usan principalmente para mezclas de planta en caliente y en frío, para sellados y para mezclas en camino.

Cuando se utiliza asfaltos modificados con polímeros genera una nueva familia de grados de emulsiones. Para designar emulsiones modificadas normalmente se agrega una letra (usualmente P, S o L) al final del grado.

A continuación algunos ejemplos:

**HFMS-2H:** Emulsión aniónica de alta flotación de rotura media de viscosidad relativa 2 y de base asfáltica consistente.

**CSS-1H:** Emulsión catiónica de rotura lenta, de viscosidad relativa 1 y de base asfáltica consistente.

**HFRS-2P:** Emulsión aniónica de alta flotación de rotura rápida, de viscosidad relativa 2 y de base asfáltica modificada

### **1.3.1.2. Rotura y Curado**

#### **Rotura**

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina "rotura". En el caso de emulsiones catiónicas y aniónicas de roturas rápidas y media, la disposición inicial de las gotitas de emulsión asfáltica sobre el agregado tiene lugar por medio de fenómenos electroquímicos.

Para emulsiones de rotura lenta, el mecanismo es la evaporación del agua. Para el caso de mezclas densas, se requiere más tiempo para permitir el mezclado y la compactación. Consecuentemente, las emulsiones utilizadas en mezclas se diseñan para rotura retardada. Una emulsión de rotura rápida tendrá un tiempo de rotura entre uno y cinco minutos luego de su aplicación, mientras que emulsiones de rotura media o rotura lenta pueden emplear un tiempo considerablemente mayor.

La velocidad de rotura está controlada básicamente por el tipo específico y la concentración del agente emulsivo.

#### **Curado**

El curado involucra el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico. El resultado final es una película cohesiva continua que mantiene a los agregados con una fuerte unión de carácter adhesivo. Para que esto suceda, el agua debe evaporarse completamente, y las partículas de la emulsión asfáltica tienen que coalescer y unirse al agregado. El agua se elimina por evaporación, por la aplicación de presión (rodillado), y por absorción del agregado. Cuando se usan emulsiones de rotura lenta y media en mezclas de pavimentación, el empleo de agregados ligeramente húmedos facilita el proceso de mezclado y recubrimiento. En las emulsiones de rotura lenta, el desarrollo de la resistencia depende principalmente de la evaporación y absorción.

## Factores que afectan la rotura y el curado

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- ❖ **Absorción del agua.**- Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber el agua de la emulsión.
- ❖ **Contenido de humedad de los agregados.**- Si bien los agregados húmedos pueden facilitar el recubrimiento, tienden a hacer más lento el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- ❖ **Condiciones climáticas.**- La temperatura, humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Usualmente, pero no siempre, la rotura ocurre de manera más rápida en tiempos cálidos.
- ❖ **Fuerzas mecánicas.**- La presión de los rodillos y, hasta cierto punto, el tráfico a baja velocidad, desalojan al agua de la mezcla y ayudan a lograr la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.
- ❖ **Superficie específica.**- Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.
- ❖ **Química de superficies.**- La intensidad de la carga de la superficie del agregado, en combinación con la intensidad de la carga del agente emulsivo, pueden influir marcadamente en la velocidad de rotura, en particular en el caso de las emulsiones catiónicas.
- ❖ **Temperatura de la emulsión y del agregado.**- La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas.
- ❖ **Tipo y cantidad de emulsivo.**- El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura para los distintos grados de las emulsiones para sellados y para mezclas.

### **1.3.2. Almacenamiento, manipulación y muestreo.**

#### **1.3.2.1. Almacenamiento de emulsiones asfálticas**

La emulsión asfáltica, una dispersión de finas gotitas de cemento asfáltico en agua, tiene las ventajas y desventajas propias del medio de dispersión, el agua. Cuando se almacenan las emulsiones asfálticas hay que considerar lo siguiente:

- ❖ Almacenar la emulsión como se almacenaría agua líquida, entre 10°C y 85°C, dependiendo del uso buscado y del producto en cuestión.
- ❖ Almacenar la emulsión a la temperatura especificada para el grado y aplicación particular. La tabla 1.1 muestra los rangos de temperatura normales para almacenamiento.
- ❖ No permitir que la emulsión asfáltica se congele. Esto produce la rotura de la emulsión, separando el asfalto del agua. El resultado será dos capas; una de asfalto y otra de agua, en el tanque, ninguna de las cuales será adecuada para el uso deseado; además, será difícil vaciar el tanque.
- ❖ No permitir que la temperatura de la superficie de almacenamiento exceda los 100°C. De suceder esto, se producirá la rotura prematura de la emulsión.
- ❖ No usar aire a presión para agitar la emulsión. Puede causar la rotura de la emulsión.

Los tanques de almacenamiento deberían estar aislados térmicamente, para proteger la emulsión contra el congelamiento y para un mejor aprovechamiento del calor. En la superficie de las emulsiones expuestas al aire se puede formar una piel (skin) de asfalto. Consecuentemente, es mejor utilizar tanques verticales, de gran altura, en los que se expone al aire la menor superficie de emulsión asfáltica. Los tanques fijos de almacenamiento, en su mayoría, son verticales, pero para almacenamiento de corto plazo en el campo a menudo se emplean tanques horizontales. La formación de piel puede reducirse manteniendo los tanques horizontales llenos, minimizando así el área expuesta al aire.

Hélices laterales, ubicadas a una distancia de alrededor de un metro del fondo del tanque pueden ser usadas para impedir la formación de la piel. Las mejores son las de gran diámetro, de baja velocidad, y deberían emplearse para revolver el

material. El exceso de mezclado debe evitarse. También pueden utilizarse bombas para circulación vertical. El exceso de bombeo debe ser evitado.

**TABLA 1.1. TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Grado	Temperatura °c	
	Mínimo	Máximo
RS-1	20	60
RS-2, CRS-1, CRS2, 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

#### 1.3.2.2. Manipulación de emulsiones asfálticas

- ❖ Agite suavemente la emulsión durante el calentamiento, para reducir la formación de piel.
- ❖ Proteja las bombas, válvulas y tuberías del congelamiento en los meses invernales. Vacíe las bombas y haga el mantenimiento de los equipos.
- ❖ Vacíe las cañerías y deje abiertas las salidas de drenaje cuando no están en servicio.
- ❖ Caliente la bomba hasta una temperatura de alrededor de 65°C para facilitar el arranque.
- ❖ Verifique, al diluir la emulsión asfáltica, la compatibilidad del agua con la emulsión, haciendo una prueba sobre una pequeña cantidad.
- ❖ Emplee, de ser posible, agua caliente para la dilución, y siempre agregue el agua lentamente a la emulsión (y no la emulsión al agua).
- ❖ Evite el bombeo y recirculación repetidos, ya que la viscosidad puede bajar y el aire puede quedar atrapado, causando la inestabilidad de la emulsión.
- ❖ Bombee desde el fondo del tanque, para minimizar la contaminación por la eventual formación de piel.

- ❖ Para el transporte, utilice camiones con placas deflectoras, para evitar una excesiva agitación de la emulsión.
- ❖ Agite aquellas emulsiones que han estado almacenadas en forma prolongada. Ello puede hacerse por recirculación.
- ❖ Evite respirar gases, vapores, etc.
- ❖ No mezcle diferentes clases, tipos y grados de asfaltos emulsificados en tanques de almacenamiento, transporte y distribuidores
- ❖ No diluya emulsiones asfálticas de rotura rápida en agua. Las emulsiones de rotura media y lenta pueden ser diluidas, pero siempre agregando lentamente agua a la emulsión asfáltica. Nunca agregue la emulsión asfáltica al tanque de agua cuando se está diluyendo.
- ❖ No cargue emulsiones asfálticas en tanques de almacenamiento o de transporte, auto tanques o distribuidores con residuos de materiales incompatibles.
- ❖ No exponga la emulsión asfáltica o el aire en contacto con su superficie a llamas, calor o potentes oxidantes. Se requiere adecuada ventilación.

### **1.3.2.3. Muestreo de emulsiones asfálticas**

Los recipientes para muestreo de emulsiones asfálticas serán botellas o tarros de plástico de boca ancha con tapa a rosca, o latas forradas en plástico con tapas de cierre a fricción de tripe sello. El tamaño de las muestras corresponderá con los recipientes requeridos, siendo generalmente de 4 litros.

Siempre que sea práctico, la muestra será tomada en el lugar de elaboración o de almacenamiento. Se tomarán tres muestras de emulsión asfáltica. Las muestras serán enviadas al laboratorio para ser ensayadas tan pronto como sea posible. Para el muestreo hay que tener en cuenta las siguientes precauciones:

- ❖ Se usarán recipientes nuevos. No se los lavará ni enjuagará. Si hay restos de fundente de soldadura, o si no están limpios o secos, deberán ser descartados. El recipiente y su tapa deberán calzar ajustadamente.
- ❖ Se pondrá cuidado en impedir la contaminación de las muestras. El recipiente para muestras no deberá ser sumergido en solvente, ni limpiado con un paño

empapado con solvente. Cualquier sustancia residual presente en la superficie exterior del recipiente será eliminado con un paño limpio y seco inmediatamente luego de que el recipiente sea sellado y apartado del saca muestras.

- ❖ La muestra no será transferida a otro recipiente.
- ❖ El recipiente lleno será sellado herméticamente inmediatamente después de que la muestra sea tomada.



**FOTO 1.1. CAMIÓN DE TRANSPORTE Y DE DISTRIBUCIÓN DE EMULSIÓN EN OBRA**

## **1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA**

### **1.4.1. Ubicación y descripción**



El tramo de carretera materia de estudio se encuentra ubicado en la Provincia de Cañete y Yauyos, en el departamento de Lima, y Concepción, en el departamento de Junín.

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplia en el límite con la región Chala o Costa, en este lugar se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo.

Continúa la quebrada que se forma a manera de una estrecha garganta cuanto más se aproxima a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, resacas y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Esta área corresponde a la región Yunga (500 msnm – 2300msnm).

Las localidades que se encuentran con esta configuración son: Zúñiga (821 msnm) en el km 56+600, Catahuasi (1206 msnm) en el km 77+000, Capillucas (1581 msnm) en el km 94+640, Calachota (1740 msnm) en el km 105+040, y desvío Yauyos o Magdalena (2289 msnm) en el km 127+000.

Continúa la vía por la región quechua (2300msnm – 3500msnm), donde por lo general luego de una estrecha garganta, se abre una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidas por lomas.

Entre loma y loma quedan pequeñas hondonadas, en cuyos fondos corren pequeños arroyos o nacen los puquiales. Sus aguas provienen de las filtraciones de las lluvias o de remotas lagunas de las regiones superiores.

Localidades ubicadas en esta región son: Tinco Huantan (2640 msnm) en el km 140+360, Llapay (2950 msnm) en el km 154+300, y Alis (3261 msnm) en el km 163+100. Al otro lado de la cordillera se ubica Ronchas (3358 msnm) en el km 255+185.

Se continúa ascendiendo llegando a la región Suni o Jalca (3500 msnm a 4000 msnm), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados, peñoleras y cerros. En este sector normalmente no se encuentran valles, más por el



contrario se tienen quebradas estrechas que abren cañones muy profundos, erosionando las rocas vivas, de modo que al recorrer esta región por el fondo de la quebrada, a orillas del río, el horizonte perceptible se cierra en circuitos pequeños que dan la sensación de un lugar amurallado.

La localidad llamada Tomas (km 171+090) se ubica en esta región. Se encuentra a 3566 msnm. Al otro lado de la cordillera se ubican: San José de Quero (3908 msnm) en el km 229+300, Chaquicocha (3650 msnm) en el km 239+600, y Collpa (3508 msnm) en el km 246+200.

La carretera atraviesa también la región Puna, que comprende alturas entre los 4000 msnm y 4800 msnm. Esta región aparece a ambos lados del declive andino, separando cumbres nevadas entre sí, reuniendo las cumbres de menos de 4800 metros para formar nudos y mesetas, y hendiendo las cordilleras para dar paso a las abras. Se considera la Puna como una gran llanura elevada o altiplano; sin embargo esta región ofrece muy variados relieves en relación a su ubicación.

En esta región ubicamos localidades o lugares como: Tinco Yauricocha (4040 msnm) en el km 181+680, Abra Chaucha (4751 msnm) en el km 193+510; Abra Negro Bueno (4686 msnm) en el km 211+320.

#### **1.4.2. Características ambientales**

Como se ha visto, el área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones. A continuación se señalan las temperaturas típicas que se dan en estas regiones:

- ❖ Yunga marítima: Esta región se caracteriza por ser de sol dominante durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20 y 27°C durante todo el día; las noches son frescas, a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.
- ❖ Quechua: El clima es templado con notable diferencia entre el día y la noche, el sol y la sombra. La temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 7°C y -4°C. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo,

como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a Marzo).

- ❖ **Suri o Jalca:** el clima es frío debido a la elevación y a los vientos locales. La temperatura media anual fluctúa entre 7°C y 10°C, máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -16°C. el aire es transparente y las nieves se presentan en grandes cúmulos aborregados, simulando nítidas y caprichosas esculturas, muy blancas y brillantes. La precipitación promedio es de 800 mm por año.
- ❖ **Puna:** La temperatura media anual es superior a los 0 ° c e inferior a los 7°C. La máxima entre Setiembre y Abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las mínimas absolutas, entre Mayo y Agosto oscilan entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200mm y 1000mm al año.

### **1.4.3. Organización política**

El desarrollo de la carretera abarca 2 departamentos; el departamento de Junin y el departamento de Lima, en tal sentido también estaría conformado por provincias, distritos y también en localidades. Las actividades económicas más resaltantes son la minería, agricultura, ganadería, comercio, piscicultura.

El sistema vial está conformado por: la carretera principal que va a lo largo del valle y por carreteras de penetración a los distintos pueblos. En gran parte de la carretera principal se encuentra en nivel de afirmado mientras que en las de penetración se encuentran a nivel de sub rasante.

### **1.4.4. Descripción del problema**

El problema principal, es la erosión debido a que sus vías no son pavimentadas.

Las consecuencias que se generan a partir de este problema, es la poca visibilidad al paso de los vehículos, deterioro de las vías por pérdida de agregado, contaminación ambiental, sección vial inadecuada.

La carencia de mantenimiento periódico y rutinario tiene como consecuencia el origen de baches, ahuellamientos, erosión y pérdida de finos; mientras que la

deficiencia en los sistemas de drenaje, y la sección de vía inadecuada, no permiten la evacuación inmediata de las aguas (de las lluvias y de regadío); por el contrario, se acumulan en los baches existentes en la plataforma produciendo y agravando las fallas antes señaladas. Consecuencia de esto es la deficiente serviciabilidad del pavimento

#### 1.4.5. Características de los suelos

Dado que en la presente investigación se realizó la estabilización del material de la cantera ubicada en el km 222+200; en consecuencia se describirá en mayor detalle el suelo de fundación del tramo de aplicación de esta cantera que corresponde desde el km 220+000 al 240+000.

Los datos del estudio de suelos se extrajo de la "Propuesta de diseño de cambio de estándar de afirmado a solución básica", el cual fu realizado por el "Consortio Gestión de Carreteras" quién viene realizando los trabajos de estabilización en la carretera.

Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de prospecciones en la plataforma vial, ubicada cada 1 km en el sector km57+390 – km 130+000, y cada 2 km el sector km 130+000 – km 258+000. Las perforaciones efectuadas a cielo abierto tienen una profundidad comprendida entre 1,0m y 1.5m.

De acuerdo con los resultados del estudio se ha sectorizado la carretera en función a su capacidad de soporte. Se han encontrado suelos gravosos y arenosos con matriz arcillosa de mediana plasticidad. Los valores de CBR obtenidos son:

**TABLA 1.2. SECTORIZACIÓN DEL SUELO SEGÚN SU CBR**

SUB SECTOR (KM – KM)	CBR (%) AL 95% DE MDS	CALIFICACIÓN
57+450 – 130+000	20	Regular
130+000 – 220+000	18	Regular
220+000 – 240+000	5	Malo
240+000 – 248+000	15	Regular
248+000 – 258+000	4	Malo

Se han encontrado además pequeños sectores con valores inferiores a los antes señalados, que corresponden a los de diseño, los cuales merecen un tratamiento diferente (mejoramiento), debido a su alta sensibilidad.

La vía se desarrolla en gran parte, a media ladera, desde Zúñiga hasta las inmediaciones de Chaquicocha (km 239+600); encontrándose rodeada por áreas de cultivo en: km 57+450 – km 66+600; km 157+500 – km 158+500; km 241+000 – km 243+000 y km 246+000 – km 247+000, lo que ocasiona que en muchos casos las aguas de riego inundan la plataforma con el consiguiente perjuicio para el pavimento afirmado. También ocasiona que esta agua, que filtra por debajo de la subrasante ascienda por capilaridad y debilite la plataforma vial.

La carretera cuenta con una capa de rodadura a nivel de afirmado, cuya clasificación general corresponde a una arena limosa (SM – SC), y en menor proporción varía entre gravas limosas (GM); se puede observar en algunos sectores superficialmente agregados descubiertos de hasta 4 pulgadas.

En el tramo km 220+000 – km 240+000. Sector de carretera donde en la mayoría de los casos se tiene una capa granular superficial entre 0.20m y 0.30m que clasifica como GM – GC o SC – SM, mientras que en el AASHTO es A-2-4(0). Subyacente se encuentra una capa de arena – arcillosa y de arcilla SC, CL y en AASHTO es A-2-6 y A-6(4), cuya capacidad de soporte CBR es bajo.

## **CAPÍTULO 2. CARATERIZACION DEL SUELO CON FINES DE ESTABILIZACION.**

Para lograr, en cualquier mezcla con emulsión asfáltica, buenas propiedades y una buena performance, la caracterización de los agregados es muy importante ya que los agregados en una estabilización constituyen entre el 95% al 98% del peso.

En el "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas" elaborado por el Instituto del Asfalto y AEMA (Asociación de Productores de Emulsión Asfáltica), presenta algunos requisitos mostrados en la tabla 2.1, indicando algunas granulometrías típicas y requisitos de algunas propiedades de los agregados para mezclas cerradas, como son: Equivalente de arena, Ensayo de abrasión los Ángeles y porcentaje de caras trituradas. Además presenta una serie de ensayos a realizar al agregado para su evaluación con fines de estabilización; los cuales se desarrollarán en el presente capítulo.

En el desarrollo del capítulo V se demostrará que la emulsión utilizada mejora las propiedades del material aún cuando esta no cumpla con algunos requisitos como la granulometría, porcentaje que pasa la malla N°200 y el equivalente de arena que es el caso de este material.

**TABLA 2.1. AGREGADOS PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN, DE GRANULOMETRÍA CERRADA**

Tamaño del tamiz	Material Semi procesado de trituración, de cantera o de río	Granulometrías para Mezclas Asfálticas Cerradas, porcentaje pasante en peso				
50mm(2plg)	-	100	-	-	-	-
37.5mm(1 1/2plg)	100	90 – 100	100	-	-	-
25.0mm(1plg)	80 – 90	-	90 – 100	100	-	-
19.0mm(3/4plg)	-	60 – 80	-	90 – 100	100	-
12.5mm(1/2plg)	-	-	60 – 80	-	90 – 100	100
9.5mm(3/8plg)	-	-	-	60 – 80	-	90 – 100
4.75mm(N°4)	25 – 85	20 – 55	25 – 60	35 – 65	45 – 70	60 – 80
2.36mm(N°8)	-	10 – 40	15 – 45	20 – 50	25 – 55	35 – 65
1.18mm(N°16)	-	-	-	-	-	-
600µm(N°30)	-	-	-	-	-	-
300µm(N°50)	-	2 – 16	3 – 18	3 – 20	5 – 20	6 – 25
150µm(N°100)	-	-	-	-	-	-
75 µm(N°200)	3 – 15	0 - 5	1 – 7	2 – 8	2 – 9	2 – 10
Equivalente de arena, en %	min 30	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
Ensayo los Angeles, @500rev.	-	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40
Porcentaje de caras trituradas	-	máx. 65	máx. 65	máx. 65	máx. 65	máx. 65

**2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.**

Cuando se usa emulsiones asfálticas para estabilización, la granulometría de los agregados difieren un poco de las especificaciones generalmente usadas para concreto asfáltico caliente, ya que estas mezclas deben permitir la pérdida de la humedad lo más breve posible. Por otro lado, los agregados con superficies específicas elevadas dificultan este hecho.

También se debe tener en cuenta que el concepto de que la mezcla debe ser abierta para facilitar el desprendimiento del agua puede inducir a error, en efecto la propia agua durante la compactación puede producir pérdida del producto bituminoso e incorrecta dosificación, debido a que aparecen presiones hidráulicas en las mezcla produciendo el lavado de la mezcla

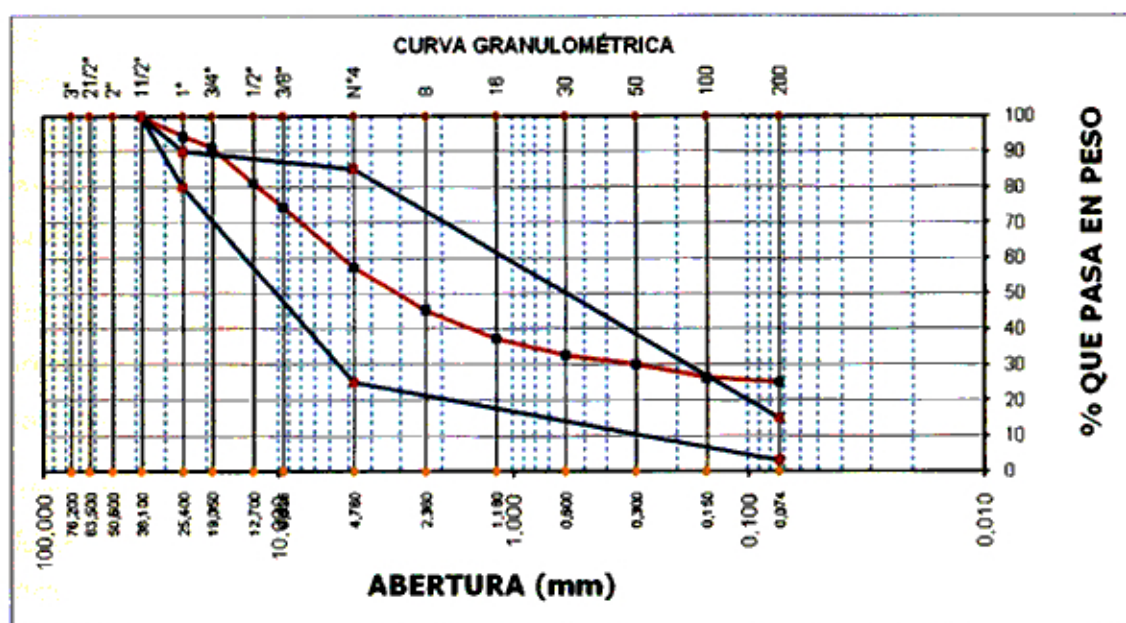
Con la finalidad de satisfacer estas condiciones el Instituto del asfalto presento algunas granulometrías recomendables que se muestran en la tabla 2.1.

El material de cantera que se utiliza en obra solo está siendo semi procesado; tamizando el material por la malla de 2", por tal motivo se comparó la curva granulométrica con los límites para un material semi procesado; se puede observar que tanto en la malla 1" y la N° 200 se sale de los límites.

**TABLA 2.2. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL A ESTABILIZAR**

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific. Inst. Asfalto Semi procesado
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.600					
1 1/2"	38.100				100.00	100
1"	25.400	320.50	5.72	5.72	94.28	80 - 90
3/4"	19.050	167.40	2.99	8.70	91.30	
1/2"	12.700	565.43	10.08	18.78	81.22	
3/8"	9.525	389.87	6.95	25.73	74.27	
No4	4.760	951.32	16.96	42.70	57.30	25 - 85
8	2.360	672.10	11.98	54.68	45.32	
16	1.180	450.10	8.03	62.71	37.29	
30	0.600	257.80	4.60	67.31	32.69	
50	0.300	146.50	2.61	69.92	30.08	
100	0.150	211.30	3.77	73.69	26.31	
200	0.074	74.36	1.33	75.01	24.99	3 - 15
pasa		1401.10	24.98	100.00	0.00	

FIGURA 2.1. CURVA GRANULOMÉTRICA



## 2.2. PORCENTAJE PASANTE DE LA MALLA N°200.

El contenido de finos tiene gran influencia en la elección del grado de la emulsión, ya que un contenido alto de finos involucra el uso de una emulsión asfáltica de rotura lenta a la que corresponde prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con el agregado de granulometría cerrada o con gran cantidad de finos.

Como en nuestro caso, según se indica en la granulometría de la muestra (tabla 2.2) tenemos un 24.98% pasante por la malla N°200, el cual es mayor que el límite máximo de 15% que se muestra en la tabla 2.2. Debido a esta gran cantidad de finos usaremos una emulsión asfáltica de rotura lenta súper estable, de la empresa Bituper, para asegurar una adecuada trabajabilidad y recubrimiento durante el mezclado.



### 2.3. LÍMITES DE ATTERBERG E ÍNDICE PLÁSTICO.

Una característica importante del suelo desde el punto de vista de su empleo en la estabilización de caminos es la humedad natural de los mismos y esta depende de la capacidad de retener la humedad en mayor o menor cantidad. En gran medida esta capacidad depende de los límites de Atterberg y del índice plástico correspondiente.

En caso de presentarse humedades naturales mayores a las óptimas, se debería tratar de disminuirlo, lo cual sería muy difícil en suelos de elevada plasticidad, ya que estos retienen la humedad.

También, cabe mencionar que cuando se realiza una estabilización una premisa fundamental es alcanzar el máximo grado de disgregación del agregado, lo que resulta tanto más difícil cuanto mayor índice de plasticidad presenta el suelo.

Para los valores máximos nos referimos al Manual de Pavimentos Asfálticos Para Vías de Baja Intensidad de Tráfico – España; el cual, da como valor máximo de 10 de Índice de plasticidad. En este caso se obtuvo un Índice plástico de 9.

El Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito – MTC, presenta la tabla 2.3, según esta nuestro material clasificaría como un suelo poco arcilloso.

TABLA 2.3. TIPO DE SUELO SEGÚN SU ÍNDICE PLÁSTICO.

Valor de índice plástico	Tipo de suelo
$IP > 20$	Suelos muy arcillosos
$10 < IP < 20$	Suelos arcillosos
$4 < IP < 10$	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	Suelos exentos de arcilla

#### **2.4. FINOS PLÁSTICOS EN LOS SUELOS Y AGREGADOS MEDIANTE EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E 114 – 2000).**

Algunos agregados contienen sustancias extrañas o deletéreas que lo hacen inadecuado para mezcla con emulsiones asfálticas. Los materiales típicos objetables son: Sustancias orgánicas, esquistos, terrones de arcilla y arcilla recubriendo el agregado grueso.

La presencia de una porción apreciable de finos plásticos o polvo nocivo, al entrar los mismos al contacto con el agua, provoca una disminución en el rozamiento interno, y en una última instancia, la ruina de la capa, por tal motivo se limita valores máximos de la cantidad de finos plásticos.

El Ensayo de Equivalente de Arena desarrollado por la California División of Highways y descrito en la AASHTO T176, es un método de determinación de la proporción del polvo fino no conveniente o de materiales similares a arcilla, en la proporción que pasa el tamiz de 4.75mm (N°4).

En los ensayos realizados se ha encontrado un valor de Equivalente de arena de 23%, el cual es menor que el valor mínimo de 30% para un material semi procesado según especifica en la tabla 2.1. Este valor es debido a la gran cantidad de finos que presenta.

#### **2.5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO –ENSAYO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.**

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación del afirmado estabilizado. El agregado sufre además la abrasión debido a las cargas de tránsito. Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración, degradación y desintegración. El agregado de la superficie o cerca de ella requiere una dureza mayor al de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas.

Debido a la arcilla presente en el agregado; la cual en estado seco se puede confundir como un agregado grueso, se realizó 2 ensayos de abrasión: una con el

material lavado antes de ensayar y otra sin lavar, en el primer caso se trata de eliminar todo el polvo y las arcillas en estado seco en forma de agregado grueso y en el segundo caso se considera todo esto, dando los siguientes resultados:

**TABLA 2.4. PORCENTAJE DE ABRASIÓN**

Descripción	Porcentaje de abrasión
Material sin lavar	27.6
Material Lavado	24.2

En ambos casos el resultado es menor que todos los valores máximos de desgaste, para todas las granulometrías según indica la tabla 2.1

## 2.6. CONTENIDO DE HUMEDAD

Para poder utilizar de manera idónea un suelo que se va a estabilizar debe tener una humedad de premezclado tal que permita asegurar el recubrimiento del agregado; esta humedad fue determinada en el ensayo de recubrimiento en el capítulo 4. Para poder llegar a esta humedad necesitamos conocer la cantidad de humedad natural y en base a esta según sea el caso, añadir agua al suelo o quitársela.

También es importante que se controle la humedad de compactación; obtenida en el Ensayo Próctor, ya que un contenido excesivo genera un estado de excesiva fluidez que puede provocar algunos inconvenientes como: pérdida del producto asfáltico e incorrecta dosificación, debido a que aparecen presiones hidráulicas en la mezcla. Por otro lado si compactamos la mezcla muy seca, no se cuenta con la lubricación adecuada para alcanzar la densidad ideal, provocada por el aumento de viscosidad del ligante.

La humedad natural encontrada en laboratorio fue de 3.06% de las muestras obtenidas de cantera, pero se recomienda calcular la humedad en campo ya que esta es vulnerable a las condiciones climáticas de la zona.

## 2.7. SALES SOLUBLES TOTALES

Como indica el Instituto del asfalto en el "Manual Básicos de Emulsiones asfálticas", los iones de algunas sales básicamente afectan al tiempo de rotura de la emulsión; y como se observa en la tabla 2.1 la cantidad de sales solubles no es un ensayo necesario para la caracterización del suelo a estabilizar.

Además al realizar el ensayo de recubrimiento y adherencia, en el capítulo 4, no se observa ninguna reacción perjudicial en el proceso de mezcla agregado con la emulsión.

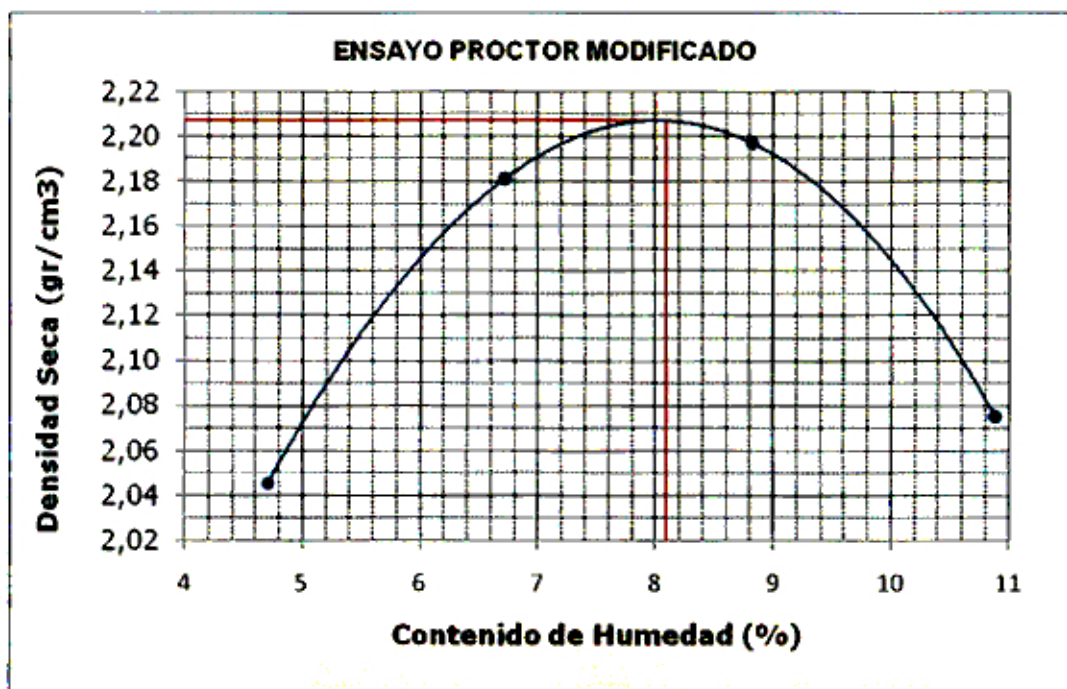
## 2.8. ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO

Es necesario conocer las cantidades máximas de densidad que se puede obtener, ya que en campo es imprescindible que la capa tenga la máxima compacidad correspondiente a la granulometría deseada. En caso contrario, la acción de las cargas del tráfico produciría deformaciones permanentes que acabarían manifestándose en irregularidades superficiales del camino.

También es necesario conocer el óptimo contenido de humedad ya que en base a esta cantidad de humedad se compactan las probetas en laboratorio y también servirá para la compactación del afirmado estabilizado en obra, Hay que tener en cuenta que para llegar al óptimo contenido de humedad hay que considerar el agua contenida en la emulsión. En el proceso de estabilización del suelo se le agrega a este una cantidad de humedad de premezclado y luego la emulsión; resultando una mezcla con una mayor humedad que la óptima pero la compactación debe realizarse con la humedad óptima de compactación.

Como observamos en la figura 2.2, la máxima densidad seca es 2.207 gr/cm<sup>3</sup> y el óptimo contenido de humedad es 8.1%

FIGURA 2.2. ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO



## 2.9. CLASIFICACIÓN AASHTO. Y SUCS

En la clasificación AASHTO corresponde a un suelo tipo: A - 2 - 4(0). En clasificación SUCS corresponde a un "GC", una grava arcillosa con arena.

## 2.10. CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR

El valor de CBR obtenido; siguiendo el procedimiento de la norma MTC E 132 – 2000 al 100% y al 95% de la Máxima densidad seca fue de 55% y 31% correspondientemente.

El Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito – MTC, presenta la tabla 2.5, según esta, nuestro material clasificaría como un suelo S4.

TABLA 2.5. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN SU CBR

INDICE DE CBR	CATEGORÍA DEL SUELO	CALIDAD DEL SUELO	RECOMENDACIÓN DE ESTABILIZACIÓN
<3	S0	Muy pobre	
3 – 5	S1	Pobre	Cal
6 – 10	S2	Regular	Cal o cemento
11 – 20	S3	Buena	Cemento o emulsión
>20	S4	Muy buena	Emulsión

En el caso de suelo de categoría S4 más que de una estabilización, se trata del aprovechamiento de las buenas características del suelo para la fabricación de una base bituminosa in situ.

### **CAPITULO 3. CARACTERIZACION DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL ESTABILIZADOR**

Entre las emulsiones asfálticas distinguimos a las aniónicas y las catiónicas, estas últimas son usadas en este proyecto de investigación y son de reciente y vertiginoso desarrollo que contienen un emulsivo tipo amínico y carga positiva, presentan en general un definido comportamiento en las mezclas que las diferencia marcadamente. Las emulsiones catiónicas son menos estables y el proceso de rotura se inicia por procesos de reacción físicos – químicos en la superficie del agregado, en tanto que en las aniónicas el curado se da a medida que se evapora el agua por inversión de fases en que el residuo asfáltico pasa a ser la fase continua. La emulsión asfáltica utilizada en esta tesis es una **Emulsión Catiónica De Rotura Lenta Superestable De Base Asfáltica Dura y viscosidad relativa 1–CSE-1h**, que pertenece al grupo de CSS-1h; la cual, es elaborada por la empresa Bituper.

A continuación se realiza una serie de ensayos sobre la emulsión asfáltica y sobre el residuo asfáltico con la finalidad de evaluar la performance, composición, consistencia y estabilidad de la emulsión.

Se tomaran los resultados de los ensayos realizados por la empresa BITUPER a distintos lotes de producción y en diferentes fechas. Las muestras fueron extraídas de la emulsión que estaba destinada para la obra Carretera Cafete – Chupaca, Los certificados se muestran en el anexo 1.

Además se presenta en el anexo 2 los valores máximos y mínimos de los ensayos tanto en la emulsión como en el residuo; dado por la norma ASTM D2397.

#### **3.1. ENSAYOS A LA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

##### **3.1.1. Carga partícula**

Este ensayo es utilizado para identificar a las emulsiones asfálticas catiónicas. Según los resultados de los ensayos del anexo 1 se demuestra que es una emulsión catiónica (carga positiva).

### **3.1.2. Viscosidad; Saybolt Furol a los 25°C.**

Este ensayo nos asegura la capacidad de emulsión para obtener una buena trabajabilidad y recubrir convenientemente a los agregados durante la estabilización.

Nos expresa la resistencia de la emulsión a fluir. Los resultados se expresan en segundos Saybolt Furol y según indica el ASTM D 2397, para emulsiones de rotura rápida y media se realiza a 50°C y para emulsiones de rotura lenta se realiza a 25°C, el cual es nuestro caso.

Según el anexo 2 la Viscosidad Saybolt Furol debe encontrarse entre 20 a 100 segundos Saybolt furol y de acuerdo al anexo 1 tenemos valores que varían desde 39 a 43 segundos Saybolt furol.

### **3.1.3. Estabilidad al almacenamiento, sedimentación a los 5 días**

Dado que durante el almacenamiento de la emulsión, se producen 2 fenómenos que se agudizan con el correr del tiempo. En el contacto con el aire, se forma una película endurecida en la superficie. Por otro lado se produce una decantación, con aumento de la viscosidad hacia el fondo. Para medir la decantación perjudicial se emplea el ensayo de sedimentación a los 5 días.

Según el anexo 2 el valor máximo es de 5% y de acuerdo al anexo 1 los valores de sedimentación varían desde 1.1% hasta 1.6%

### **3.1.4. Residuo por evaporación**

Con este ensayo determinaremos el porcentaje de asfalto que contiene una emulsión evaporando el agua, mediante el calentamiento de la emulsión a 163°C.

Según el anexo 2 el porcentaje mínimo de residuo asfáltico es 57%, y de acuerdo con el anexo 1 tenemos un porcentaje mínimo de 60.5%.



### **3.1.5. Tamizado; retenido T20 (850mm)**

Aquí se determinará la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la emulsión, detectando los grumos, así como la partícula que se forma en la superficie. El ensayo permite prever posibles detenciones en las tuberías, sedimentaciones en los tanques, formaciones de películas de espesor irregular alrededor del árido o la posible situación o evidencia de algún proceso físico - químico indeseable.

Según el anexo 2 el porcentaje máximo que es retenido en el tamiz N°20 es de 0.1%, y de acuerdo con el anexo 1 el valor máximo encontrado es de 0.05% correspondiente al lote de producción con fecha 23 de abril del 2009.

### **3.1.6. Rotura; mezcla con cemento.**

Este ensayo indica la capacidad de una emulsión asfáltica de rotura lenta para mezclarse, sin romper, con un material de alta superficie específica, el cual es nuestro caso por la gran cantidad de porcentaje de finos que presenta el agregado.

Cabe mencionar que este ensayo no es realizado en el medio, debido a que en el mercado no se cuenta con el cemento Tipo III con el cual se realiza el ensayo.

## **3.2. ENSAYOS AL RESIDUO ASFÁLTICO.**

Dado que el estado final de una estabilización es cuando la emulsión se haya curado, es decir, solo ha quedado el residuo asfáltico cubriendo las partículas del agregado, por lo tanto las propiedades del material estabilizado depende en gran parte del residuo asfáltico y en tal sentido este debe mantener las mismas características deseables en el cemento asfáltico base.

### **3.2.1. Penetración (25°C, 100gr, 5seg).**

Aquí se medirá la dureza del residuo asfáltico. Este ensayo mide la profundidad de la penetración de una aguja, normalizada, bajo una carga de 100 gramos durante 5 segundos a una temperatura de 25°C.

Según el anexo 2 (Norma ASTM D 2397) el valor para este tipo de emulsión usada CRL-1h, la penetración está en el rango entre 40 y 90, y como observamos en el anexo 1 tenemos valores que varía entre 50 y 52,

### **3.2.2. Ductibilidad (25°C, 5cm/m) cm.**

Este ensayo es una medida de la capacidad del asfalto para ser estirado formando un hilo delgado.

Dado que la estructura del pavimento estabilizado al ser sometido a cargas, va a sufrir deformaciones, como se observa en el capítulo 5.4. por lo cual, es necesario que el residuo asfáltico tenga la capacidad de estirarse, hasta una cierta longitud mínima, y no se rompa. Para medir esta capacidad se realiza este ensayo de Ductibilidad.

Según el anexo 2 (Norma ASTM D 2397) el valor mínimo es de 40cm. Como observamos en el Anexo 1 (Certificados de ensayos en emulsión y residuo asfáltico, de empresa Bituper) no ha sido realizado este ensayo.

### **3.2.3. Solubilidad en Tricloroetileno.**

Este ensayo es una medida de la fracción bituminosa del residuo asfáltico. La fracción soluble en Tricloroetileno representa al ligante asfáltico y la fracción insoluble representa a los contaminantes inorgánicos.

Según el anexo 2 (Norma ASTM D 2397) el valor mínimo es de 97.5%. Como observamos en el Anexo 1 (Certificados de ensayos en emulsión y residuo asfáltico, de empresa Bituper) no ha sido realizado este ensayo.

## **CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MEZCLA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CON EL AGREGADO EN MEZCLA DE GRANULOMETRÍA CERRADA.**

Generalmente los suelos estabilizados cumplen la función de sub base. Pero para nuestro caso de una vía de bajo tráfico y un suelo de alta categoría S4 (tabla 2.5) la estabilización con emulsión constituye realmente la capa de base, puesto que sobre esta solo se dispone de un tratamiento superficial.

El presente capítulo se refiere a etapas de laboratorio para la elaboración de una mezcla densa con un afirmado y una emulsión asfáltica catiónica, con miras a llegar a una metodología para su dosificación, evaluando las relaciones volumétricas y restantes parámetros de calidad.

Como estabilizador se uso La Emulsión Asfáltica Catiónica Lenta tipo Super Estable CSE de la empresa Bituper. Según el proveedor, esta emulsión tiene buena habilidad para mezclarse con los agregados, es decir la emulsión demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión está dentro de la clasificación de las lentas pero presenta un mayor tiempo de rotura que las propias lentas lo que permite alcanzar una buena trabajabilidad.

Finalmente con los distintos valores sobre la calidad que se vayan obteniendo deberán luego en una segunda etapa evaluarse y ajustarse en obra, para adecuar las exigencias a la realidad constructiva.

### **4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN**

Hay varios procedimientos disponibles para determinar el punto de partida para el contenido tentativo de emulsión o residuo asfáltico de una mezcla. Pero en esta tesis se tomará como referencia el Manual de Pavimentos Asfálticos Para Vías de Baja Intensidad de Tráfico – España (anexo 3); el cual, menciona que los contenidos de residuo asfáltico varían entre 2% a 4% con respecto al peso seco de los agregados. Dado que la emulsión presenta 60% de residuo asfáltico entonces el porcentaje de emulsión varía entre 3.3% a 6.6%.

No hay un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsiones asfálticas y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de

granulometría abierta. Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método de ensayo de Hveem (ASTM D 1560 y 1561 ó AASHTO T 246 y 247) o del método de ensayo Marshall (ASTM D 1559 ó AASHTO T245).

En la presente tesis usaremos los ensayos CBR y Estabilidad Marshall para distintos porcentajes de emulsión asfáltica, para establecer la afinidad y comportamiento mecánico de los materiales estabilizados además medir su mejoramiento de estabilidad ante el agua, a la vez estos ensayos nos permitirán determinar el óptimo contenido de emulsión asfáltica correspondiente al porcentaje de estabilizador que nos proporcione los mejores valores en estos ensayos. El ensayo Marshall además nos definirá los coeficientes estructurales y compararlos a las mezclas asfálticas convencionales.

#### **4.2. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO Y ADHERENCIA.**

Estos ensayos son una evaluación preliminar de la emulsión asfáltica elegida para la mezcla. Los contenidos tentativos de emulsión asfáltica elegidos se combinan con el agregado del proyecto en condición húmeda corregida a peso seco. El recubrimiento se estima visualmente como satisfactorio o insatisfactorio.

Algunas emulsiones asfálticas pueden necesitar agua de pre-mezclado. Si se observa que el asfalto y los finos se apeltan, debería evaluarse el recubrimiento con contenidos adicionales de agua. De encontrarse que el recubrimiento ha sido satisfactorio se pasa al ensayo de adherencia caso contrario la emulsión empleada debería ser modificada o debería elegirse otra emulsión.

##### **4.2.1. Procedimiento del ensayo de recubrimiento**

- a) Se determina el contenido de humedad de una muestra representativa de agregado. Debe ponerse cuidado en conservar la humedad de campo en la muestra. Si el agregado está seco se debe agregar la humedad que se estima en acopio 24 horas antes de realizar el ensayo.
- b) Se pesa 500 gramos de agregado seco (500gramos + humedad).

- c) Pesamos el agua de premezclado y mezclamos manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
- d) Pesamos el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura prevista y lo agregamos al agregado húmedo; lo mezclamos durante 60 segundos o hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla.
- e) Colocamos la mezcla sobre una superficie plana y estimamos visualmente el grado de recubrimiento.

#### **4.2.2. Procedimiento para el ensayo de adherencia**

- a) Curamos una fracción de 100 gramos de la mezcla producida anteriormente en una bandeja en una estufa de circulación forzada durante 24 horas, a 60°C.
- b) Colocamos la mezcla curada en estufa en un vaso de precipitado de 600 ml conteniendo 400 ml de agua destilada en ebullición.
- c) Volvemos el agua a su punto de ebullición y lo mantenemos; agitamos el agua durante 3 minutos, a una revolución por segundo.
- d) Derramamos el agua y lo colocamos sobre un papel blanco absorbente.
- e) Luego de que la mezcla se ha secado, evaluamos visualmente el porcentaje de recubrimiento asfáltico retenido. De ser satisfactorio continuamos con el diseño de la mezcla

Para el análisis visual del grado de recubrimiento, adherencia y humedad de compactación se elaboró la tabla 4.1 en base a lo observado en laboratorio.

**TABLA 4.1. RECUBRIMIENTO Y ADHERENCIA**

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>Mala</b>	Nulo recubrimiento del agregado grueso y poco recubrimiento del agregado fino
<b>Regular</b>	Poco recubrimiento del agregado grueso y aceptable recubrimiento del agregado fino
<b>Buena</b>	Aceptable recubrimiento del agregado grueso y excelente recubrimiento del agregado fino
<b>Muy Buena</b>	Buen recubrimiento del agregado grueso y excelente recubrimiento del agregado fino
<b>Excelente</b>	Excelente recubrimiento del agregado grueso y excelente recubrimiento del agregado fino

**TABLA 4.2. HUMEDAD DE COMPACTACIÓN**

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>Muy poco</b>	Humedad muy por debajo del óptimo contenido de humedad
<b>Poco</b>	Humedad por debajo pero cerca del óptimo contenido de humedad
<b>Buena</b>	Humedad igual o muy cerca al óptimo contenido de humedad
<b>Mucho</b>	Humedad por encima pero cerca del óptimo contenido de humedad
<b>Exceso</b>	Humedad muy por encima del óptimo contenido de humedad.

**TABLA 4.3. OBTENCIÓN DE LA HUMEDAD DE PREMEZCLADO**

Emulsión (%)	Dilución Emulsión : Agua	HUMEDAD DE PREMEZCLADO (%)				Recubrimiento	Adherencia	Humedad compactación	Observación
		Aumentada en Emulsión (%)	Natural en agregado (%)	Aumentada en agregado (%)	Total (%)				
3.0	1 : 1	3.0	1.5	3.4	7.9	Regular	No se realizó	Bueno	Se escogió como humedad de premezclado a 8.9% con respecto al agregado seco
	1 : 1	3.0	1.5	3.9	8.4	Bueno	Regular	Mucho	
	1 : 1	3.0	1.5	4.4	8.9	Muy bueno	Bueno	Exceso	
4.0	1 : 1	4.0	1.6	2.4	7.9	Regular	No se realizó	Bueno	Se escogió como humedad de premezclado a 8.9% con respecto al agregado seco
	1 : 1	4.0	1.5	2.9	8.4	Bueno	Regular	Mucho	
	1 : 1	4.0	1.5	3.4	8.9	Muy bueno	Bueno	Exceso	
5.0	1 : 1	5.0	1.5	1.4	7.9	Bueno	No se realizó	Mucho	Se escogió como humedad de premezclado a 8.4% con respecto al agregado seco
	1 : 1	5.0	1.5	1.9	8.4	Muy Bueno	Bueno	Exceso	
	1 : 1	5.0	1.5	2.4	8.9	Muy Bueno	Bueno	Exceso	

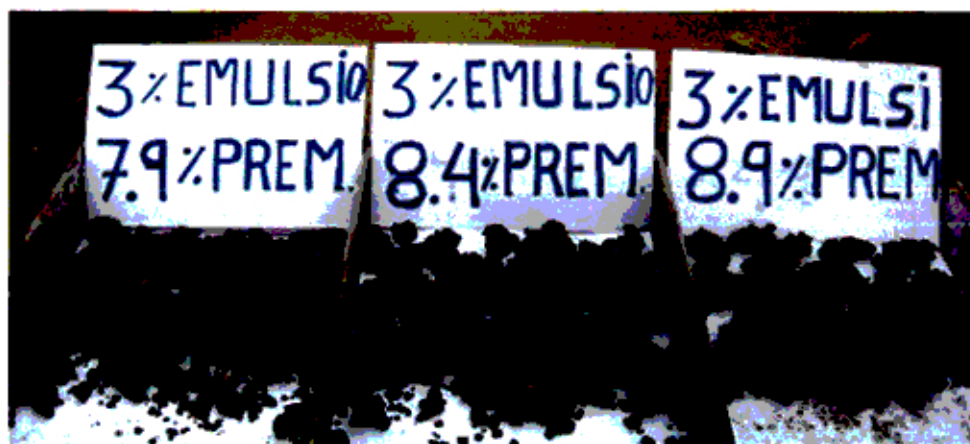


FOTO 4.1. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO CON 3% DE EMULSIÓN

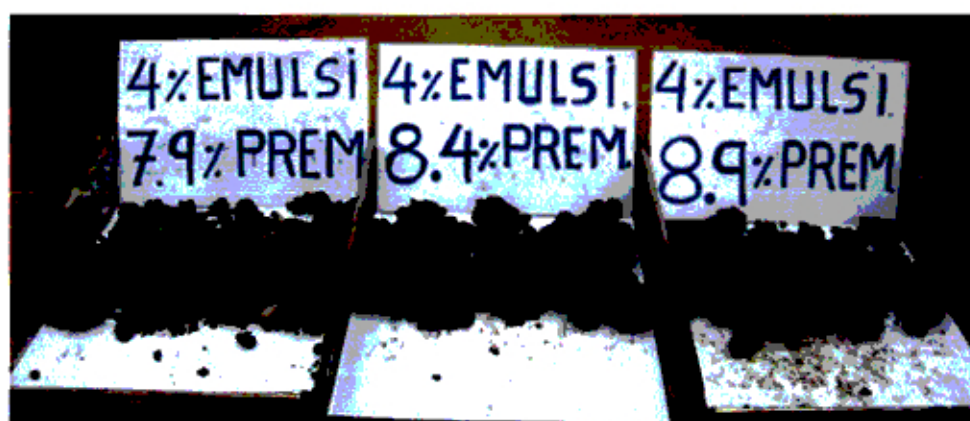


FOTO 4.2. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO CON 4% DE EMULSIÓN

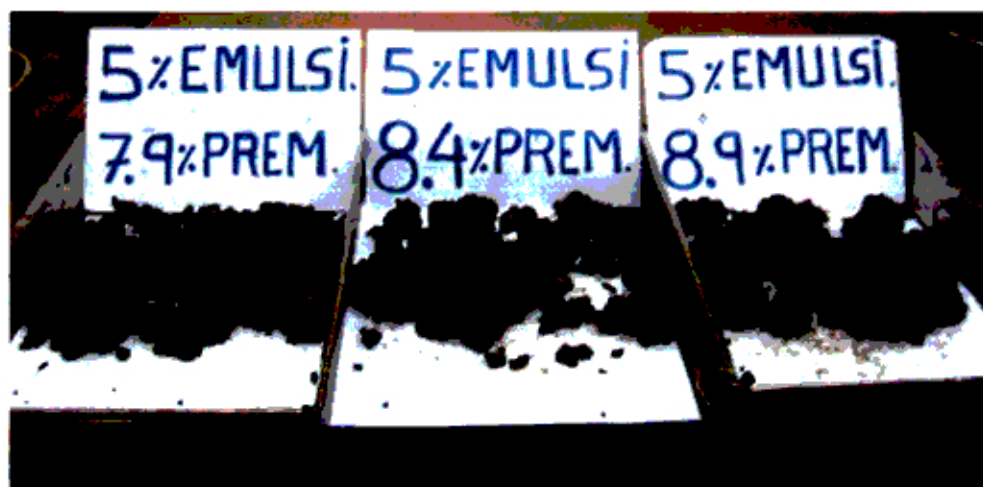


FOTO 4.3. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO CON 5% DE EMULSIÓN.



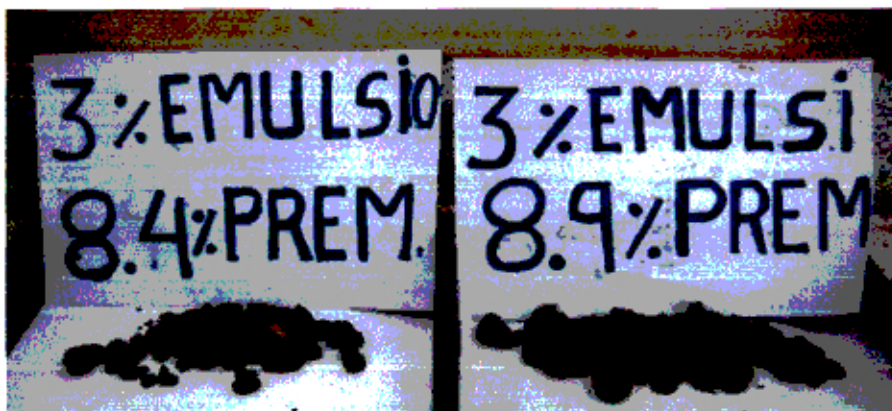


FOTO 4.4. MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA CON 3%  
DE EMULSIÓN

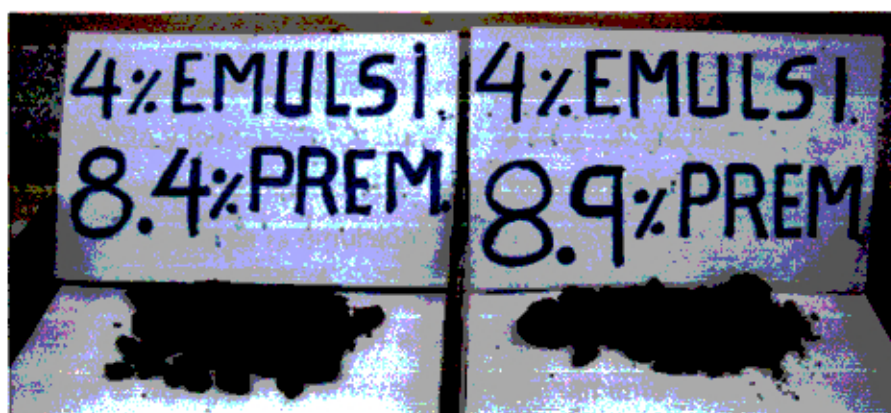


FOTO 4.5. MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA CON 4%  
DE EMULSIÓN



FOTO 4.6. MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO DE ADHERENCIA CON 5%  
DE EMULSIÓN

### 4.3. ELABORACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA

En el presente capítulo se describirá el procedimiento de elaboración de la mezcla y compactación de las probetas para mezclas con emulsión asfáltica; según se describe en el Manual de Emulsiones Asfálticas del Instituto del Asfalto.

#### 4.3.1. Procedimiento de mezclado

- a) Pesamos el agregado en condición húmeda (corregida a peso seco), la cantidad para obtener un espécimen compactado cuya altura es  $63.5\text{mm} \pm 6\text{mm}$ . La cantidad normalmente necesaria para cada probeta es alrededor de 1200 gramos de agregado seco.
- b) Agregamos al agregado el agua de premezclado, según se obtuvo del ensayo de recubrimiento y lo mezclamos durante 19 segundos o hasta que la humedad esté uniformemente distribuida. Esto debe realizarse inmediatamente antes de la adición y mezclado de la emulsión.
- c) Agregamos el agua de disolución a la emulsión y luego la emulsión diluida la adicionamos al agregado y removemos vigorosamente durante 60 segundos o hasta que la emulsión se haya dispersado lo suficientemente en la mezcla.

#### 4.3.2. Procedimiento de compactación

- a) A menudo y previamente a la compactación, es necesario airear o secar la mezcla. En el momento en que el volumen del líquido total (Emulsión + agua en el agregado) excede los vacíos en el agregado mineral (VAM) más cualquier volumen de líquido absorbido, no se puede lograr una compactación adecuada. Esta condición puede ser detectada si el martillo del método Marshall rebota y/o el espécimen exuda líquido. Cuando esta condición se da, coloque la mezcla en una bandeja y utilice un ventilador y remueva ocasionalmente la mezcla para reducir el contenido de humedad, de modo que pueda lograrse una compactación apropiada. Siempre utilice una nueva mezcla y no aquel que no pudo ser compactado satisfactoriamente.

- b) Limpie completamente el molde para el espécimen y la cara del martillo de compactación. Coloque un disco de papel en el fondo del molde antes de volcar la mezcla. Coloque la totalidad de la mezcla dentro del molde y con una espátula aplique vigorosamente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en el interior del molde. Con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada.
- c) Coloque el molde sobre el pedestal, trábelo y aplique 50 golpes con una caída libre de 457.2mm (18 pulgadas). Quite la base del molde y el collar e invierta el espécimen moldeado, re ensamblando el molde. Aplíquese otros 50 golpes de compactación, esta vez sobre la cara libre del espécimen invertido.
- d) Retirar la base, el collar y los discos de papel y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en una estufa de circulación forzada, a 60°C y durante 48 horas. En esta tesis, adicionalmente del curado en horno también se adicionará un curado en agua a 60°C y un curado al ambiente, como se indica en el capítulo V
- e) Retirar del horno el espécimen y dejar enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmoldeo para ser ensayado.

#### **4.4. ENSAYOS EN LOS ESPECÍMENES COMPACTADOS – PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS**

El procedimiento para el cálculo de estos parámetros volumétricos es igual al utilizado en el método Marshall convencional.

Para el análisis de los resultados se realizará la comparación con los límites dados por el método de Marshall en asfaltos convencionales; tanto el porcentaje de vacíos y vacíos en el agregado mineral cuyos valores son los siguientes:

**TABLA 4.4. CRITERIO DE DISEÑO MARSHALL**

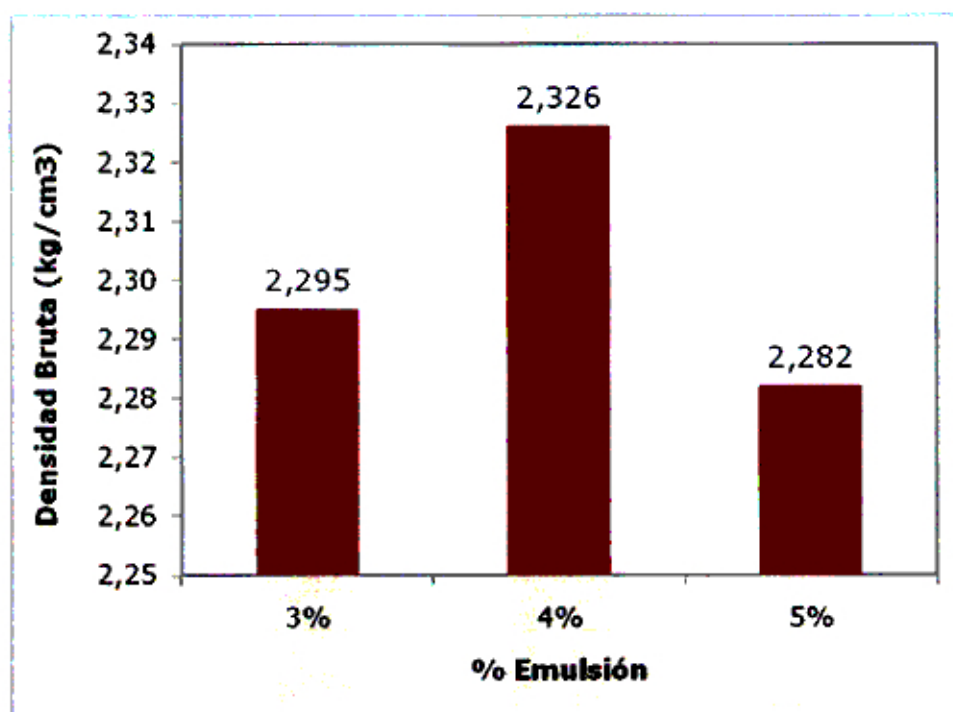
Criterio de diseño Marshall	Tránsito liviano		Tránsito medio		Tránsito pesado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación N° de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad (kg)	2 27		3 41		6 82	
Fluencia (0.25mm)	8	20	8	18	8	16
Vacios (%)	3	5	3	5	3	5

**TABLA 4.5. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL**

Tamaño máximo nominal de la partícula	Valor mínimo de vacíos en el agregado mineral (%)
N° 16	23.5
N° 8	21
N° 4	18
3/8"	16
1/2"	15
3/4"	14
1"	13
1 1/2"	12
2"	11.5
2.5"	11

#### 4.4.1. Densidad bruta

La densidad bruta de la probeta compacta se expresa generalmente en peso específico bruto de la probeta multiplicada por la densidad del agua:  $1.0\text{gr/cm}^3$ .

**FIGURA 4.1. VALORES DE DENSIDADES BRUTAS PARA DISTINTOS CONTENIDOS DE EMULSIÓN**

Como se muestra en la Figura 4.1 para un contenido de 4% de emulsión se obtiene el valor más alto de densidad bruta. En relación a la densidad bruta se considera como óptimo a un 4% de Emulsión en la mezcla.

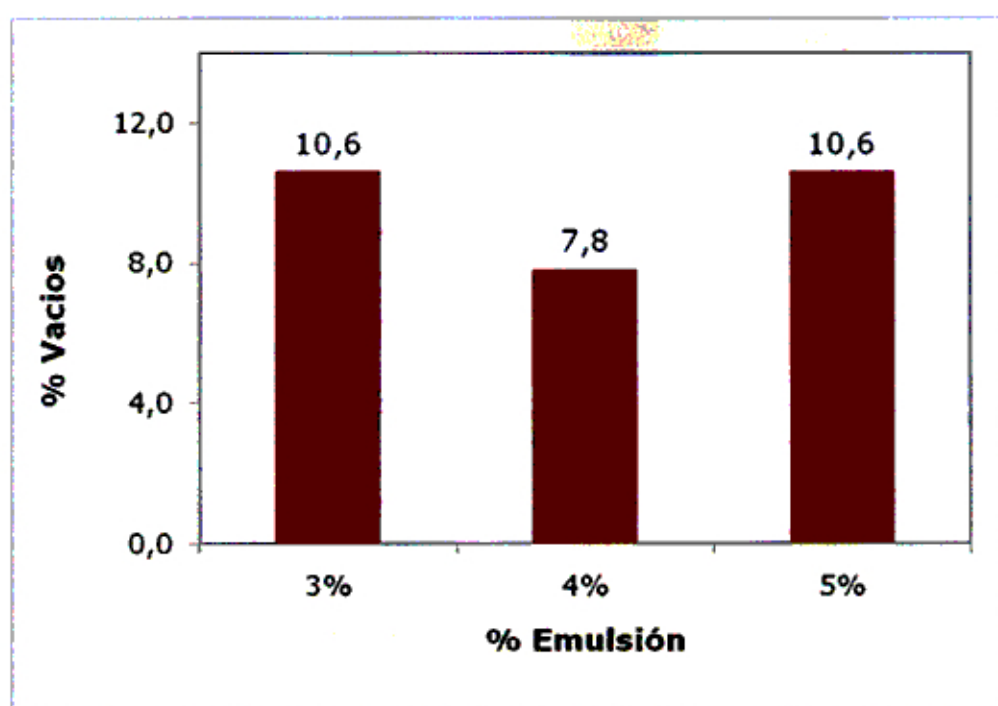
#### 4.4.2. Porcentaje de vacíos

El volumen de vacíos es expresado en porcentaje del volumen total de la mezcla compacta. Representa el volumen que no es ocupado por el asfalto ni por el agregado. A menos que la cantidad de asfalto absorbido por el agregado sea tenida en cuenta, el porcentaje de vacíos de la mezcla puede ser engañosamente bajo.

El contenido de emulsión asfáltica en la mezcla debe ser tal que no permita la obtención de un exceso ni de un déficit de porcentaje de vacíos. En caso de exceso de vacíos ocurrirá en el pavimento excesivas deformaciones debido a la continua compactación realizada por el tráfico y al desprendimiento de agua, hasta que

prácticamente se quede sin humedad; en caso de un déficit de vacíos se dificultaría el desprendimiento del agua y el secado. Se puede usar como referencia los rangos del porcentaje de vacíos que plantea el Método Marshall para diseños de mezclas asfálticas en caliente (tabla 4.4), el cual limita entre 3% y 5%, para todo tipo de tráfico.

**FIGURA 4.2. PORCENTAJE DE VACÍOS PARA DISTINTOS CONTENIDOS DE EMULSIÓN**

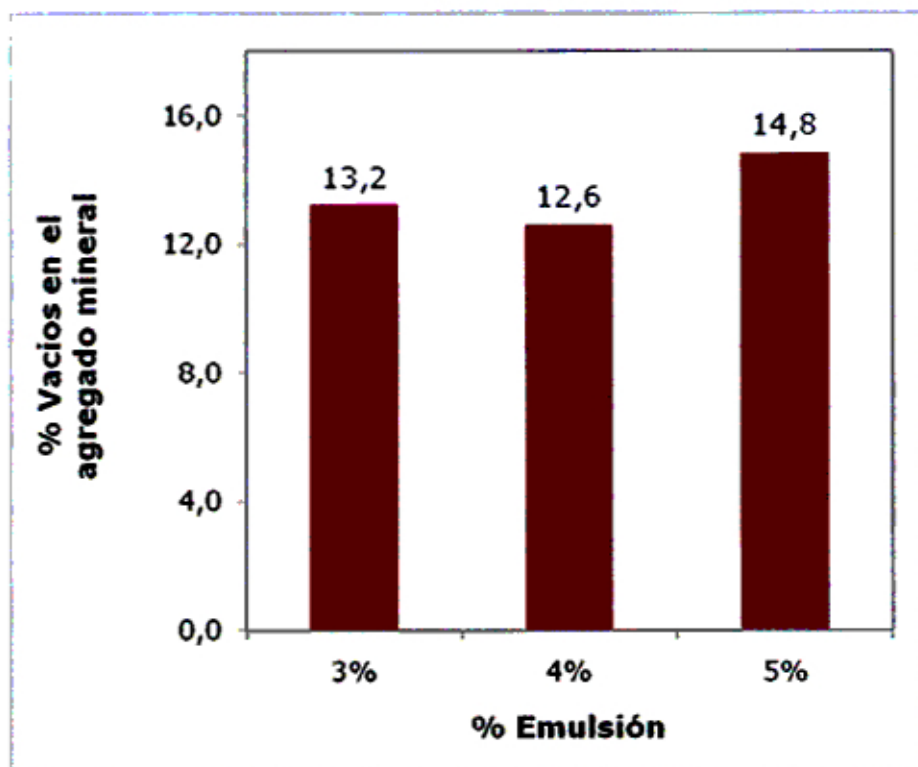


En los tres casos se obtiene valores mayores a 5% de vacíos, siendo el menor valor de 7.8% correspondiente a una mezcla con 4% de Emulsión. Entonces en relación al porcentaje de vacíos se debería tomar como óptimo a un 4% de Emulsión en la mezcla.

#### 4.4.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Los vacíos del agregado mineral (VAM) son expresados en porcentajes del volumen total de la muestra. Representa el volumen de la mezcla compactada que no es ocupada por el agregado.



**FIGURA 4.3. PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL PARA DISTINTOS CONTENIDOS DE EMULSIÓN**

La tabla 4.5 nos indica para un tamaño máximo nominal de 1" un porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral de 13%; y de la Figura 4.3 observamos que solo para un 4% de emulsión; con 12.6 de vacíos en el agregado mineral, no se cumple este valor mínimo, pero muy cercano al 13% mínimo requerido; siendo el de mayor valor 14.8 correspondiente a un 5% de emulsión.

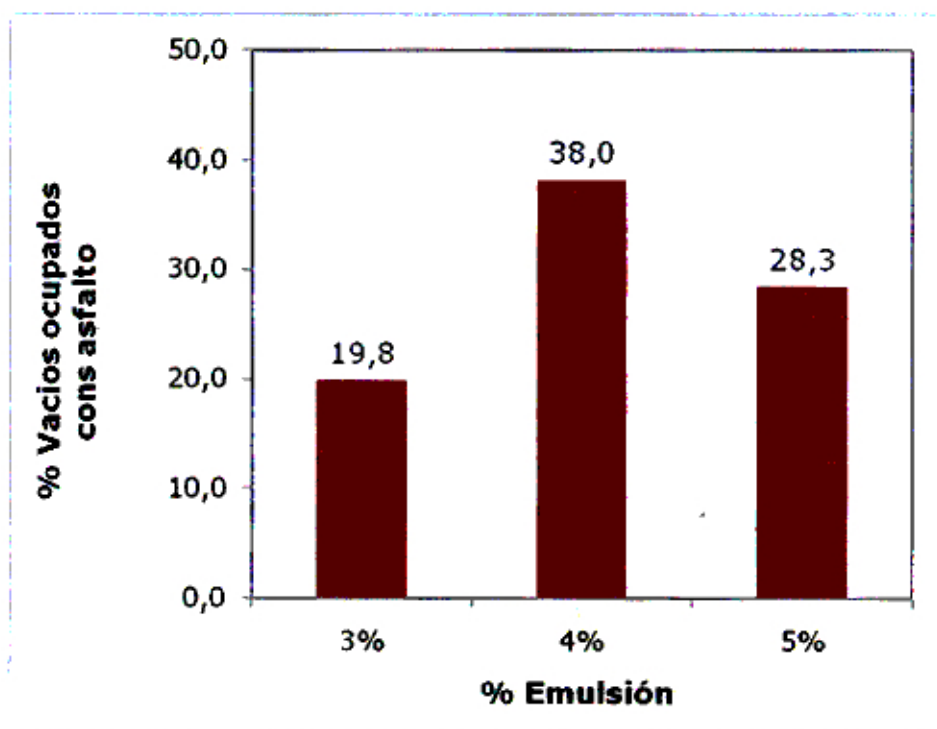
Entonces con respecto al porcentaje de vacíos en el agregado mineral se puede considerar como un óptimo a un 5% de Emulsión en la mezcla, teniendo en cuenta que mezclas con los otros porcentajes se pueden considerar satisfactorias.

#### 4.4.4. Vacíos ocupados con asfalto

Nos representa el porcentaje de vacíos del agregado mineral ocupados con cemento asfáltico.

Hay que tener en cuenta que un alto contenido de asfalto en la mezcla, con vacíos casi completamente ocupados con asfalto, puede proveer una mayor durabilidad; sin embargo, esto podría ser no conveniente desde el punto de vista de la estabilidad. Cuando el material se coloca en el camino, puede ahuellarse o fluir bajo las cargas del tránsito también puede tener lugar el afloramiento o exudación del asfalto a la superficie. Por tal motivo una mezcla no tiene que presentar valores excesivos de vacíos ocupados con asfalto.

**Figura 4.4. Porcentaje de vacíos ocupados con asfalto para distintos contenidos de emulsión**



Como se observa en la Figura 4.4, el mayor valor de porcentaje de vacíos es de 38% que corresponde para un 4% de Emulsión, este valor se podría considerar como no excesivo.



## **CAPITULO 5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE DESEMPEÑO DEL AFIRMADO ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.**

En el presente capítulo se ejecutaron ensayos de CBR y Estabilidad Marshall, con la finalidad de establecer la afinidad y comportamiento mecánico de los materiales estabilizados.

Ambos ensayos permitirán definir la capacidad estructural del material y la mejora de la estabilidad; ante la inmersión en agua, del material al ser estabilizado con la emulsión asfáltica; el ensayo Marshall permitirá además definir los coeficientes estructurales (estabilidad y fluencia) y compararlas con las mezclas asfálticas convencionales.

### **5.1. Capacidad de soporte**

Para la evaluación de la capacidad de soporte se realizó el ensayo de CBR sin embeber, es decir, para el curado de la probeta se deja a esta expuesta al medio ambiente por un periodo de 4 días como indica la norma. Este tipo de curado se realiza con la finalidad de reproducir las condiciones in situ del pavimento.

Adicionalmente también se evaluará la Estabilidad Marshall para probetas curadas en horno a una temperatura de 60°C y al medio ambiente, siendo en ambos casos el tiempo de curado de 48 horas. Este ensayo también nos podrá determinar la resistencia de la mezcla a las deformaciones.

Para la preparación de las probetas; tanto para CBR como para el Ensayo Marshall, se empleo como agente lubricante al agua y en otros casos agua y emulsión, para el mezclado se agregó la cantidad de agua de premezclado calculado en capítulo IV y la compactación se realizó con el Óptimo Contenido de Humedad del ensayo Próctor.

Los valores de CBR serán obtenidas para el 95% y para el 100% de la máxima densidad seca, según se indica en la figura 5.1.

Figura 5.1. Valores de CBR sin emulsión curado en ambiente

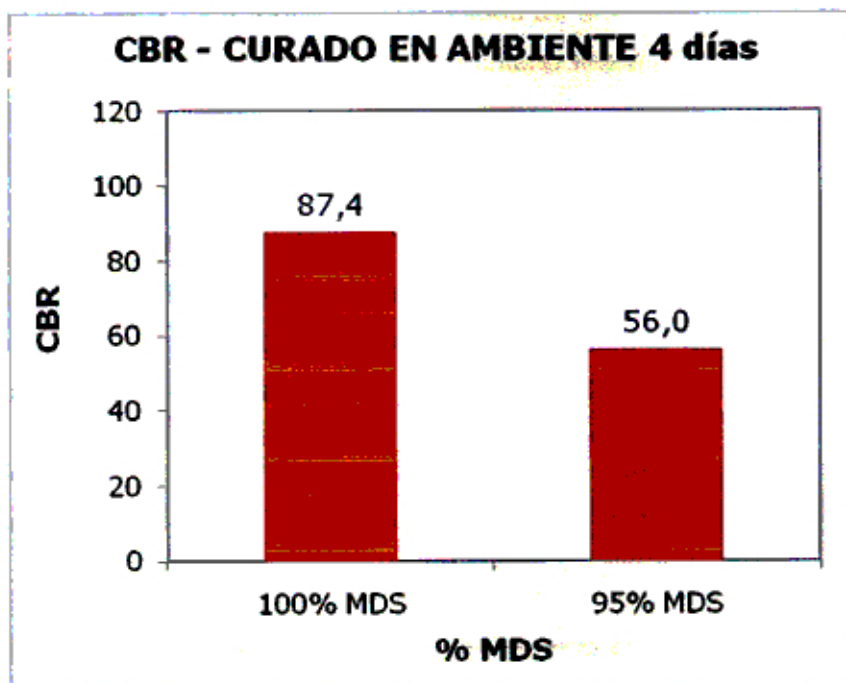
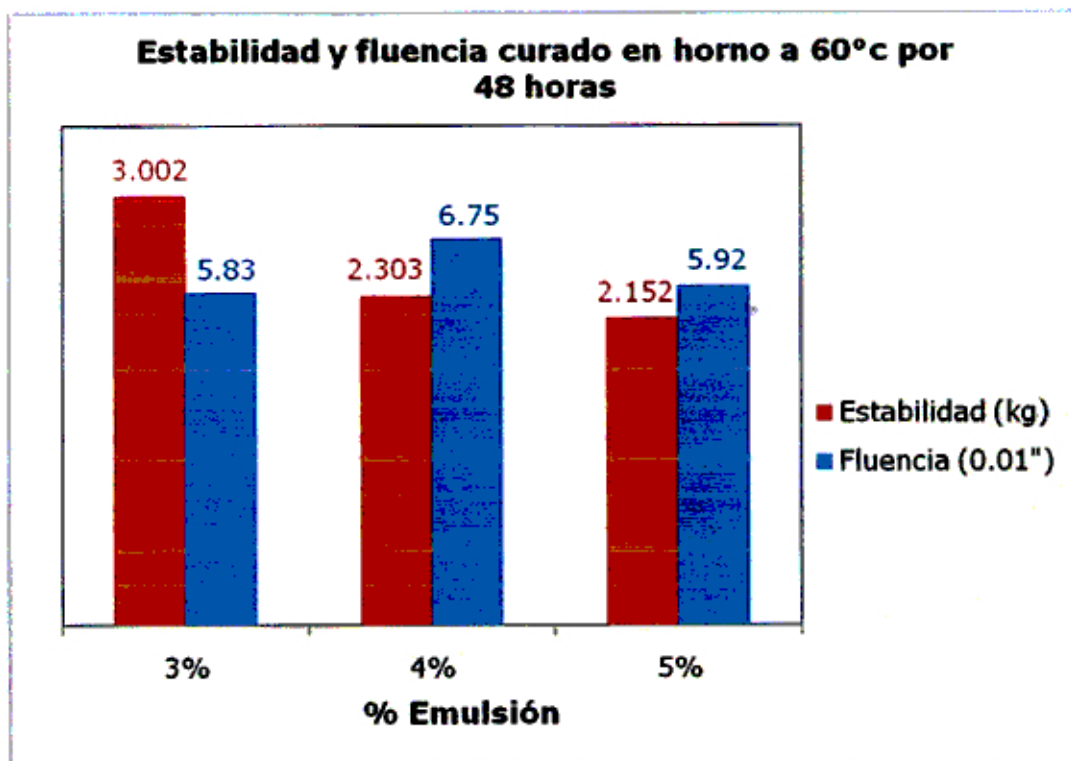


Figura 5.2. Valores de estabilidad y fluencia curado al horno

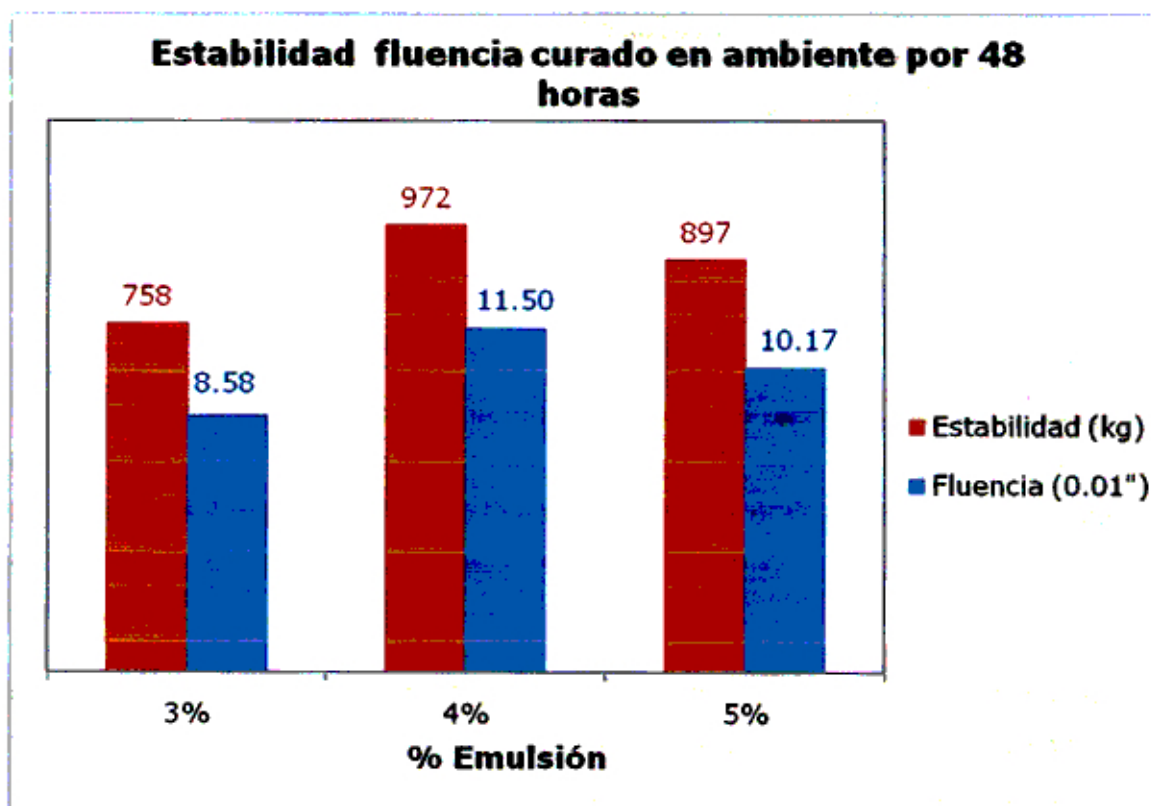


En la Figura 5.2 se observa que los valores de estabilidad son bastantes altas y que los de flujo son bajos para todos los contenidos de emulsión; que en ningún caso cumple con los requerimientos mínimos del criterio Marshall (tabla 4.4), lo cual se explicaría por:

- La muestra es plástica, y el curado a 60°C en horno ha producido la cohesión de los finos, a lo cual ha contribuido el asfalto.
- Los testigos estabilizados, no se han sometido previamente al baño maría por 30 minutos y a 60°C, como lo señala el método Marshall para mezclas asfálticas convencionales.

En este caso el valor de la estabilidad principalmente está definido por la cohesión de los finos el cual ha sido influenciado en gran parte por el curado a 60 ° c en horno.

**Figura 5.3. Valores de estabilidad y fluencia curado al ambiente**



En la Figura 5.3 se observa valores de estabilidad alta pero menores que los de curado en horno esto es debido que el curado en ambiente ha producido la cohesión de los finos pero en menos intensidad que el curado en horno, a la cual ha contribuido el asfalto y también no se ha sometido previamente al baño maría. Pero también se observa en la figura 5.3 que los valores de fluencia son más altos y en todos los casos cumple con el criterio de diseño Marshall (tabla 4.4), siendo el mejor valor el de mayor fluencia de 11.5 que corresponde a la probeta de 4% de emulsión.

También se puede observar en la Figura 5.3, que la estabilidad aumenta cuando se pasa de un 3% a un 4% de emulsión, pero disminuye cuando se llega a un 5%, esto es debido a que la estabilidad máxima de la mezcla no se alcanza hasta que la cantidad de asfalto que recubre las partículas ha llegado a un valor crítico. Un porcentaje adicional del mismo actúa más como lubricante que como ligante, reduciendo la estabilidad de la mezcla pero aumentando su durabilidad. Por esta razón es frecuentemente necesario mantener el contenido de asfalto tan alto como sea posible conservando una adecuada trabajabilidad.

En ambos tipos de curado, el parámetro que definiría el óptimo contenido de emulsión sería el de fluencia que en ambos casos corresponde a la probeta de 4% de emulsión en la mezcla.

## **5.2. Estabilidad bajo el agua**

Según indica la norma MTC E 1109 – 2000 (Norma Técnica De Estabilizadores Químicos); para la evaluación de la estabilidad bajo el agua; se realizó el ensayo CBR embebido; es decir, para el curado de la probeta se la sumerge en agua por un periodo de 4 días, según indica la norma. Con este ensayo vamos a determinar el porcentaje de asfalto que resiste mejor a los efectos del agua durante la inmersión.

En el caso del ensayo Marshall se analizará la pérdida de estabilidad por inmersión a una temperatura de 60°C; por un periodo de 48 horas, se comparará estos con los valores de estabilidad obtenidos en el ensayo curado en ambiente para un mismo contenido de emulsión. Cabe indicar que el Método Marshall Modificado (Para ser

usado con emulsiones) indica que la pérdida de estabilidad por inmersión debe ser menor o igual a 25%.

Para la preparación de las probetas; tanto para CBR como para el Ensayo Marshall, se empleó como agente lubricante al agua y en otros casos agua y la emulsión, para el mezclado se agregó la cantidad de agua de premezclado calculado en capítulo IV variando el porcentaje de emulsión y la compactación se realizó con el Óptimo Contenido de Humedad del ensayo Próctor.

Los valores de CBR serán obtenidos para el 95% y para el 100% de la máxima densidad seca, según se indica en la tabla 5.4.

Figura 5.4. Valores de CBR - curado en agua

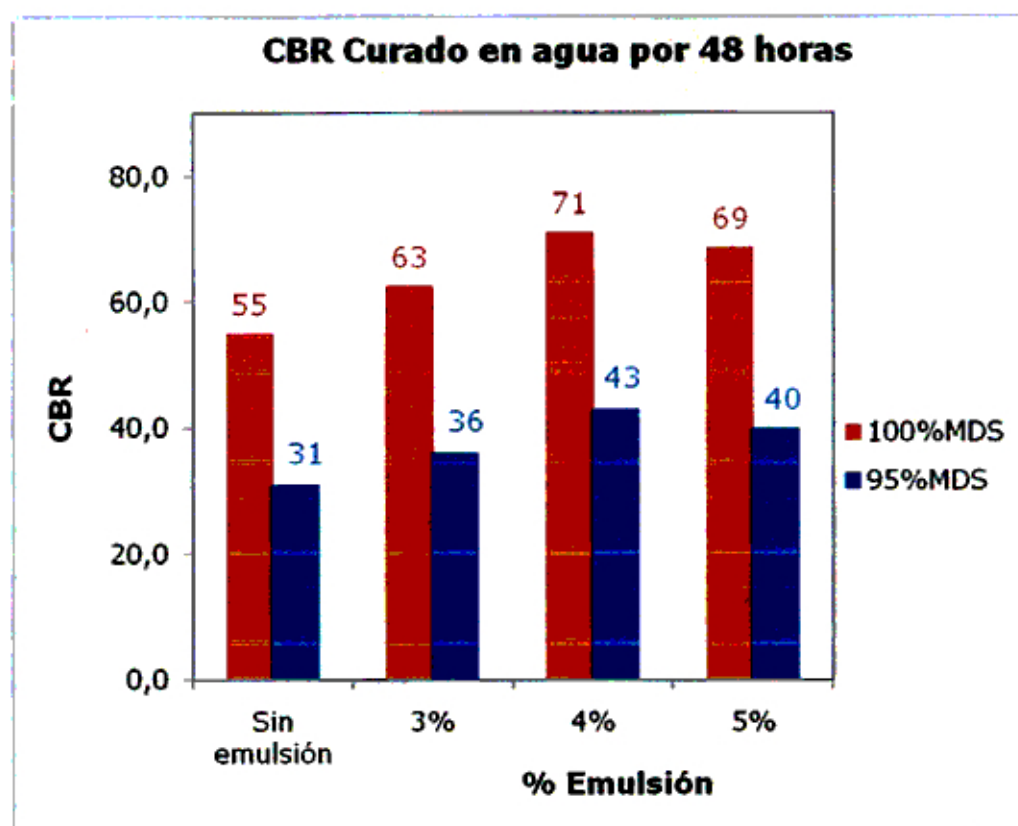
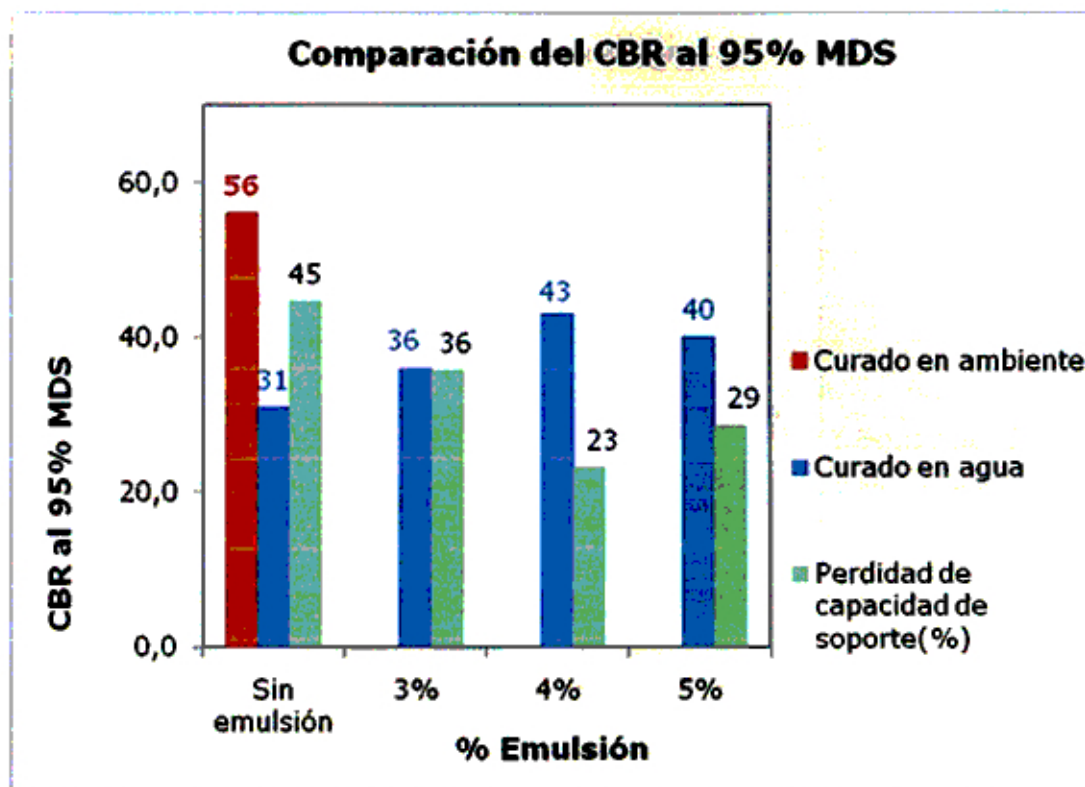


Figura 5.5. Comparación de valores de CBR – al 95% de la MDS

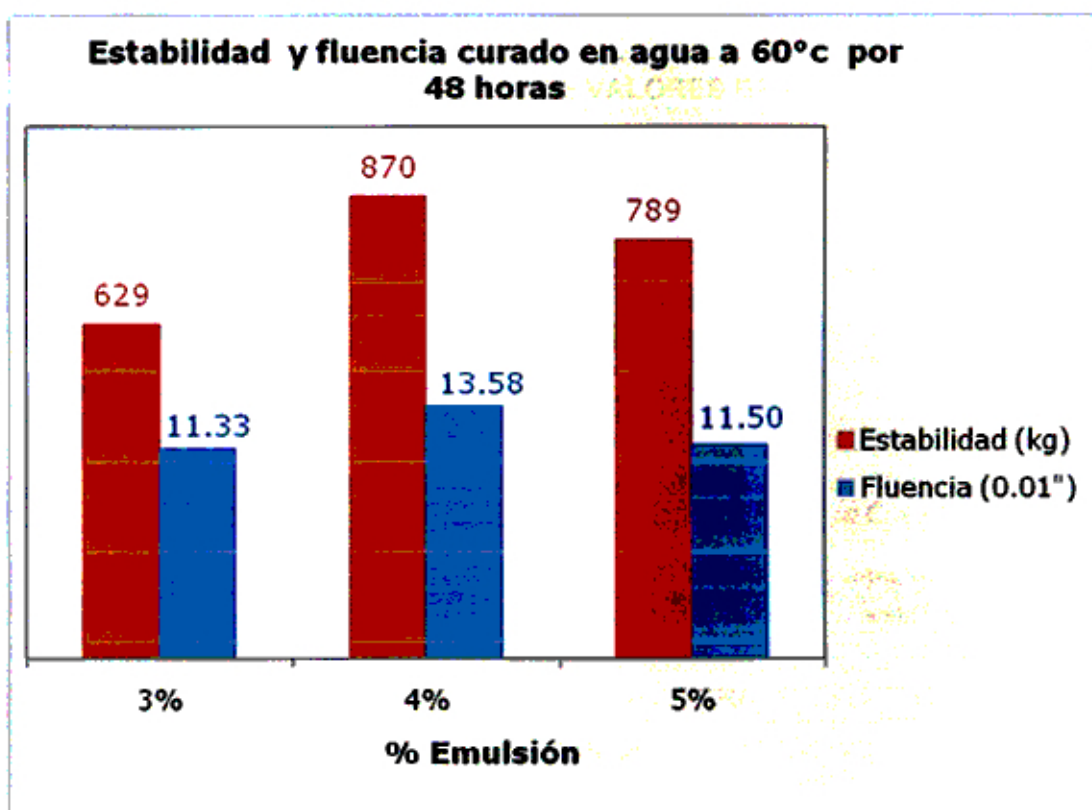


Como podemos observar de la Figura 5.5, si bien en ningún caso se llega a obtener un CBR igual a la de una probeta sin emulsión y curada al ambiente, si se logra mejorar el CBR con respecto a una probeta sin emulsión curada en agua por 4 días, con lo cual se estaría demostrando que la estabilización con emulsión mejora la estabilidad ante la inmersión, y la menor pérdida de capacidad de soporte se da para la probeta con 4% de emulsión.

Dado que con un 4% de emulsión en la mezcla hay una menor pérdida de estabilidad ante la inmersión, se deduce que el óptimo contenido de emulsión sería 4%, con respecto al ensayo CBR.



Figura 5.6. Valores de estabilidad y fluencia curado en agua



Como se puede observar de la Figura 5.6 los valores de estabilidad aún siguen siendo altos después de ser sumergidos en agua a 60°C, esto se debe que si bien se ha curado la briqueta en agua se lo ha hecho dentro del molde metálico; actuando así el agua en la parte superior e inferior y en pequeña proporción en la parte lateral de la briqueta, a diferencia con el curado según el método Marshall Modificado (Para ser usado con emulsiones asfálticas) que indica que el curado en agua se debe realizar con las briquetas aún dentro de los moldes pero estos tienen huecos en sus paredes, de tal manera el agua actuaría en gran parte de la superficie de la briqueta y en los asfaltos convencionales las briquetas se sumergen sin molde actuando el agua en toda la superficie.

Para un 5% de emulsión la estabilidad disminuye debido a que la mezcla ha llegado a un óptimo en un 4% de emulsión y valores superiores a estos ya actuarían más

como un lubricante que como un ligante, como se explico para la estabilidad curado en ambiente.

FIGURA 5.7. COMPARACIÓN DE VALORES DE ESTABILIDAD

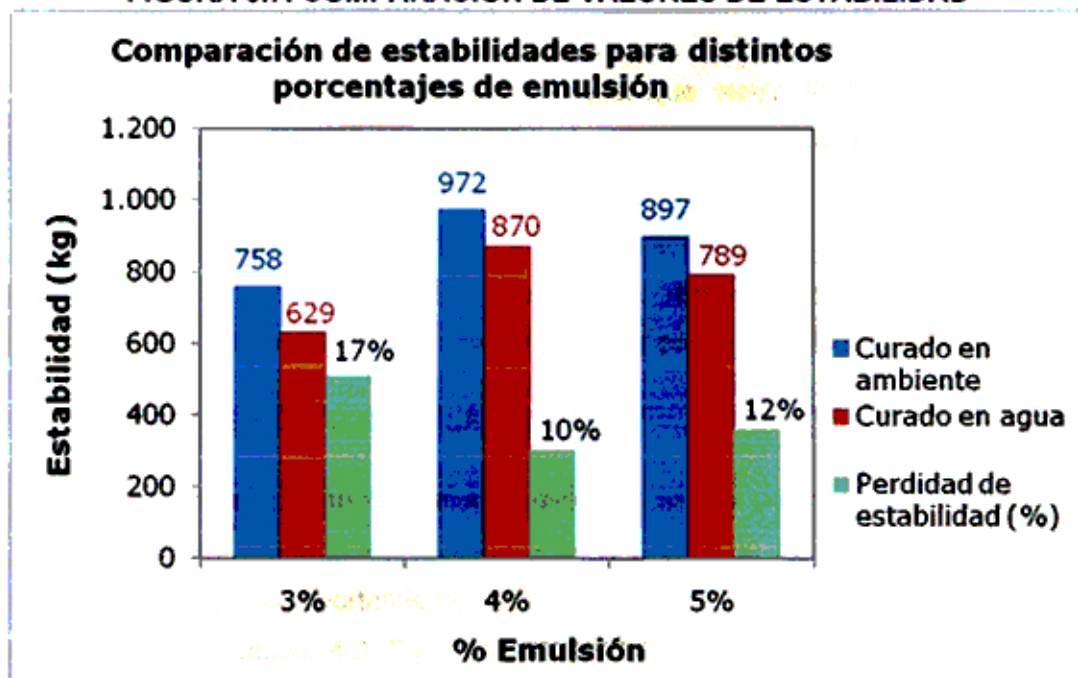
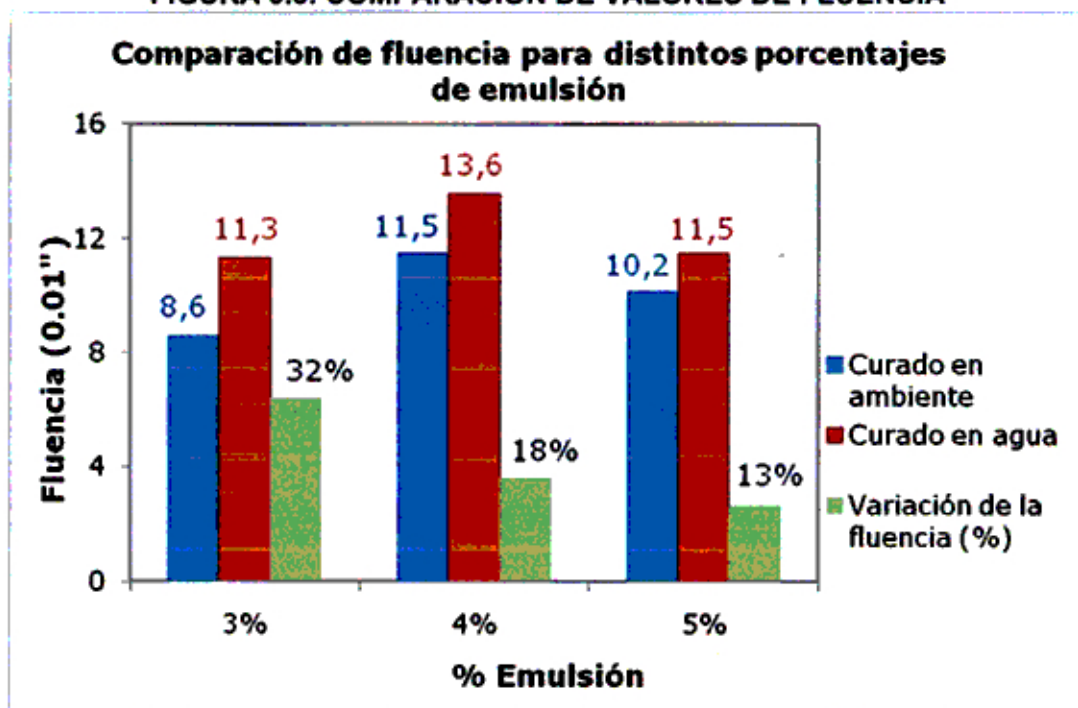


FIGURA 5.8. COMPARACIÓN DE VALORES DE FLUENCIA





Según la Figura 5.7 y Figura 5.8 para todas las proporciones de emulsión se ha presentado pérdida de estabilidad y aumento del flujo respectivamente, después de ser sumergido en agua, pero tanto la estabilidad como el flujo se encuentran dentro de los límites según indica la tabla 4.4.

El óptimo contenido de emulsión sería aquel que tenga la menor pérdida de estabilidad y un flujo adecuado. Para este caso el óptimo contenido de emulsión sería 4%, dado que la pérdida de estabilidad solo representa un 10.5% el cual es menor a 17% y 12% correspondiente a un 3% y 5% de emulsión y el flujo ante la inmersión es de 13.58%, el cual es menor que 18%; el cual es el valor máximo para una briqueta que se le ha aplicado 50 golpes por cara, esto según la tabla 4.4.

### **5.3. COMPORTAMIENTO ANTE LA HUMEDAD**

En este capítulo se pretendía evaluar cómo cambian los parámetros de resistencia y expansión del afirmado estabilizado ante la presencia de la humedad, pero la evaluación de este comportamiento ya no es necesario realizarla porque ya ha sido evaluado en el capítulo 4.2, Estabilidad bajo el agua, donde con la realización de los ensayos de CBR y Marshall se ha evaluado estos comportamientos, cuyos resultados y análisis de estos se muestran en ese capítulo.

### **5.4. DURABILIDAD ANTE LA ABRASIÓN**

En el presente capítulo se planteó medir la capacidad, del suelo estabilizado con emulsión, de controlar el desprendimiento de las partículas que lo componen, frente a la acción de agentes mecánicos o climáticos.

El ensayo Desgaste de Cantabro nos mide este desprendimiento; el objetivo de este ensayo es evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas en cuanto a la pérdida de material. Consiste en el análisis de las probetas Marshall, sometidas al equipo de abrasión Los Ángeles. Los principales pasos del ensayo son los siguientes:

- Pesar inicialmente la probeta del ensayo Marshall (**M1**).
- Colocar en el equipo de abrasión Los Ángeles.
- Condicionar la temperatura de ensayo a 25°C, efectuar 300 revoluciones con una velocidad angular de 30 revoluciones por minuto.
- Pesar nuevamente el cuerpo de prueba (**M2**).

El desgaste de Cantabro es determinado por medio de la siguiente expresión.

$$D = \left( \frac{M1 - M2}{M1} \right) \cdot 100$$

D = Valor de desgaste en porcentaje.

M1 = Peso del cuerpo antes del ensayo.

M2 = Peso del cuerpo después del ensayo.

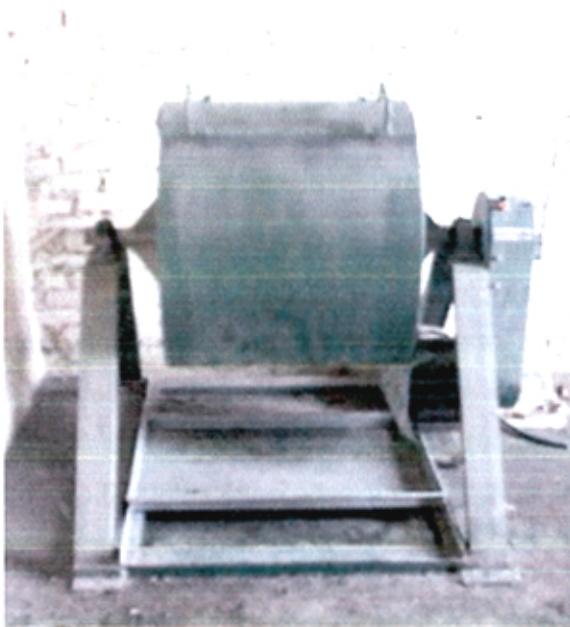


Foto.5.1. EQUIPO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES  
EN EL INTERIOR



FOTO 5.2. PROBETA  
DEL EQUIPO

El desgaste máximo permitido es de 25% para mezclas asfálticas porosas, y el desgaste para cada contenido de emulsión debe ser realizado a partir de la media aritmética de 3 probetas de prueba, con los valores individuales que no difieran en más de 20% del valor medio.

Este ensayo es comúnmente realizado en mezclas drenantes, pudiendo ser empleados para mezclas de arena y asfalto y para concretos asfálticos comunes; para el caso de un afirmado estabilizado se le puede realizar este ensayo y compararlo con el valor máximo de desgaste que da el ensayo de 25% pero para mezclas asfálticas porosas.

En la presente tesis no se ha podido realizar este ensayo debido a que ya no se está produciendo, durante la época de lluvias en la carretera, la emulsión CSE (Catiónica Súper Estable), de la empresa BITUPER, la cual es necesaria para la elaboración de las probetas Marshall que menciona el ensayo

En tal sentido se deja planteado este ensayo para las tesis que se vienen realizando en el marco del Convenio UNI - MTC

## **5.5. OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES CON LA VIGA BENKELMAN.**

Se realizará la evaluación estructural del pavimento estabilizado y el comportamiento estructural pavimento estabilizado – subrasante, para lo cual se hará uso de los datos de deflexiones en el pavimento obtenidos por los alumnos del curso de titulación 2009-2, esta evaluación ha sido realizada desde el km 59+000 al 104+000, y dividida en tramos de 5 km dentro de los cuales se han tomado 5 puntos separados 100 metros cada uno. Solo se evaluará 2 tramos de 5 km correspondientes al de 64+000 al 69+000 y al 69+000 al 74+000.

Dado que el espesor del pavimento es variable, se ha tomado un espesor promedio de HC=15cm, que es lo que comúnmente se ha obtenido en campo, de los cuales 5 cm son de base estabilizada y 10 cm de afirmado.

Para la obtención de los parámetros estructurales se usó el modelo matemático de HOGG y el uso de un programa en Excel. Se ha tomado como datos de entrada los siguientes valores:

$$HC = 15 \text{ cm}$$

$$P = 4100 \text{ kg}$$

$$\rho = 80 \text{ psi}$$

$$\mu = 0.4$$

$$H/L_0 = 10$$

Relación de brazos: 4:1

Factor CBR: 110

**Tabla 5.1. Cálculo de parámetros estructurales del pavimento y sub rasante**

DATOS DE CAMPO					H/LΦ = 10								
KM	DEFLEXIONES(0.01mm)				R (cm)	DR (0.01mm)	RS (cm)	LΦ (cm)	Eo kg/cm2	CBR (%)	E* kg/cm2	E*/Eo	HEQ cm
	0	25	40	70									
66+600	128	96	72	24	40	72	45.9	23.6	310.2	2.8	4,999.3	16.1	26.27
66+700	48	24	16	8	25	24	25.0	9.8	1,252.6	11.4	378.6	0.3	6.98
66+800	40	24	16	8	25	24	31.2	14.3	1,359.0	12.4	1,845.6	1.4	11.52
67+000	48	24	16	8	25	24	25.0	9.8	1,252.6	11.4	378.6	0.3	6.98
71+500	48	24	16	8	25	24	25.0	9.8	1,252.6	11.4	378.6	0.3	6.98
71+600	72	40	16	8	25	40	28.3	12.2	803.4	7.3	460.0	0.6	8.64
71+700	88	56	40	24	40	40	36.2	17.5	552.4	5.0	2,493.3	4.5	17.19
71+800	48	24	16	8	25	24	25.0	9.8	1,252.6	11.4	378.6	0.3	6.98
71+900	80	48	24	8	25	48	31.2	14.3	679.5	6.2	933.9	1.4	11.56
PROMEDIO							30.3	13.4	968.3	8.8	1,360.7	2.8	11.5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR							7.0	4.7	386.1	3.5	1,565.6	5.2	6.5
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)							23.2	35.0	39.9	39.9	115.1	185.3	56.9

En la tabla 5.1 se obtiene valores de CBR que varían entre 2.8% a 11.4% con un valor promedio de 8.8%, para este tramo los datos proporcionados por la concesionaria CGC tiene un valor promedio de CBR de 19%, el modelo de HOGG calcula valores menores esto puede ser que en el proceso constructivo a la subrasante no se la ha trabajado correctamente no alcanzando así la máxima compactación o que el pavimento no tenga la suficiente rigidez permitiendo que los esfuerzos pasan hasta la subrasante deformándola así en gran magnitud.

El MTC recomienda que la relación  $E^*/E_o$  debe estar en el rango de 2 a 4 para que la estructura del pavimento sea considerada como adecuadamente diseñada. Como se observa en la tabla 5.1 ningún valor cumple esta condición encontrándose en su mayoría por debajo del valor mínimo, es decir bajos valores de  $E^*$  para la subrasante que se tiene.

El MTC indica que la longitud característica ( $L_o$ ) debe variar entre 15 cm y 80 cm, en la tabla 5.8 se aprecia que los valores obtenidos van de 9.8 cm a 23.6 cm y en su mayoría se tienden al valor mínimo y corresponden a un pavimento débil sobre una subrasante débil.

## CAPITULO 6. ANALISIS Y EVALUACION ECONOMICA DE LA ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

Con la finalidad de comparar precios en una carretera con un afirmado estabilizado y otra solo con afirmado; se ha presenta los análisis de costos para ambos casos. Es necesario mencionar que el trabajo consiste en la colocación de un afirmado compactado de un espesor promedio de 15 centímetros y luego; en el caso de ser estabilizado, se escarifica solo 5 centímetros y a este material se le agrega la emulsión. En tal sentido el precio final de una base estabilizada estará conformado por el precio de la conformación de una base de afirmado de 15 centímetros más el precio de la estabilización de 5 centímetros del afirmado.

PARTIDA:	BASE DE AFIRMADO		COSTO UNITARIO m <sup>2</sup> :		
	REND.	2300 m <sup>2</sup> /día	CANTIDAD	P.U.	S/. 5.92
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U.	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	HH	0.20	0.0007	12.26	0.009
Peón	HH	5.00	0.0174	7.62	0.133
					<b>S/. 0.14</b>
<b>MATERIALES</b>					
Afirmado (e=0.15m)	M3		0.1800	25.00	4.500
Agua	M3		0.0275	10.99	0.303
					<b>S/. 4.80</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas Manuales	%	3.00	0.0104	0.14	0.001
Rodillo Liso Vibr. Autop.	HM	1.00	0.0035	130.00	0.452
Motoniveladora	HM	1.00	0.0035	150.00	0.522
					<b>S/. 0.98</b>

PARTIDA: ESTABILIZACIÓN DE BASE (e=0.05m)					
REND.	2000	m2/día	COSTO UNITARIO m2:		S/. 8.39
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	P.U.	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					
Capataz	HH	0.20	0.0008	12.26	0.010
Peón	HH	5.00	0.0200	7.62	0.152
					<b>S/. 0.16</b>
<b>MATERIALES</b>					
Agua	M3		0.0275	10.99	0.303
Emulsión Asfáltica CSE-1h	GLN		1.0800	5.65	6.102
					<b>S/. 6.40</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
Herramientas Manuales	%	3.00	0.0300	0.16	0.005
Camión Imprimador	HM	1.00	0.0040	175.00	0.700
Rodillo Liso Vibr. Autop.	HM	1.00	0.0040	130.00	0.520
Motoniveladora	HM	1.00	0.0040	150.00	0.600
					<b>S/. 1.82</b>

**TABLA 6.1. RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS**

TIPO DE PAVIMENTO	COMPONENTES	P.U.	P.U.
A NIVEL DE ESTABILIZADO	BASE DE AFIRMADO	s/. 5.92	s/. 14.31
	ESTABILIZACIÓN DE BASE	s/. 8.39	
A NIVEL DE AFIRMADO	BASE DE AFIRMADO	s/. 5.92	s/. 5.92

Se observa que el estabilizar una base cuesta s/. 8.39 más que solo colocar un afirmado. Este precio es compensado por el aumento de vida útil de la vía ya que se ha mejorado su estabilidad ante el agua, que es la que más afecta a una vía a nivel de afirmado, reduciendo considerablemente su tiempo de vida útil.



## CONCLUSIONES

- ❖ La estabilización de suelos siempre estuvo enfocada como una solución técnica y económica en carreteras para un periodo corto de diseño (3años). La idea central es resolver un problema funcional en caminos no pavimentados.
- ❖ La estabilización de suelos con emulsión asfáltica ofrece muchas ventajas frente a las mezclas asfálticas en caliente, en razón de no necesitar calentamiento. La presencia de humedad y la baja viscosidad del ligante, permiten que los agregados tengan un buen recubrimiento a temperatura ambiente.
- ❖ El uso de mezclas asfálticas en frío no requiere el uso de equipos sofisticados, por lo cual, su uso es apropiado en zonas remotas y con no tan altos recursos económicos.
- ❖ Dado que en suelos no cohesivos la emulsión les brinda cohesión y se busca el incremento de su resistencia y en suelos finos cohesivos se busca que la emulsión le añada estabilización ante la presencia del agua y presente buena resistencia. Para la obtención del óptimo contenido de emulsión asfáltica se usa el Ensayo del CBR o el Método Marshall Modificado.
- ❖ Dado que la mezcla en servicio evoluciona hasta un estado final donde sólo permanece recubriendo al agregado el residuo asfáltico, corresponde dosificar el ligante asumiendo sólo la presencia del residuo asfáltico o el cemento asfáltico correspondiente.
- ❖ El agua es el elemento indeseable pero necesario para permitir inicialmente el mezclado otorgando estabilidad a la emulsión frente al agregado y luego, en menor cantidad, para dar al conjunto suficiente compactabilidad para facilitar la primera compactación en obra.
- ❖ Antes de producirse la ruptura de la emulsión asfáltica en la mezcla, la acción del agua es muy perjudicial ya que produce el arrastre del ligante.
- ❖ Dado que el material que se ha estabilizado es un suelo con gran cantidad de finos plásticos, 24.98% pasante la malla N° 200 y un índice de Plasticidad de 9.2, lo recomendable es estabilizarlo con cal; pero con los resultados obtenidos se ha demostrado que la emulsión CSE – 1h también mejora la estabilidad del suelo ante la presencia de agua.

- ❖ De la evaluación estructural del pavimento se observa bajos valores de CBR de la sub rasante y de longitud característica ( $L_0$ ) de lo que se deduce que es un pavimento débil sobre una sub rasante débil, lo cual no supone que sea una estructura no útil para el bajo tráfico que se presenta y que la emulsión no esté cumpliendo su función ya que ha logrado estabilizarlo ante la presencia del agua.

## RECOMENDACIONES

- ❖ El presente estudio ha consistido en la utilización de una Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta y por lo tanto el procedimiento que resulte solo cabe aplicarlo en tales casos.
- ❖ Para las mediciones de la resistencia a la deformación de las mezclas asfálticas; alternativamente al ensayo de estabilidad Marshall se puede realizar los ensayos: Del estabilómetro de Hveen usado por el Instituto del Asfalto y El de Compresión - Inmersión utilizado por el Ministerio de Obras Públicas de España.
- ❖ Evitarse el trabajo de estabilización con emulsión durante un periodo de lluvias ya que esta puede realizar el arrastre del ligante.
- ❖ Debería calcularse el tiempo de rotura de la emulsión para cada tipo de agregado que se estabilice, dado que ello importa en obra para controlar el efecto de una lluvia durante la construcción en relación al posible arrastre del ligante.
- ❖ Se debe evaluar el estacionamiento de la mezcla, es decir la posible alteración de la mezcla a través de la evolución de la rotura de la emulsión. Esto se realiza preparando probetas y evaluando los parámetros del ensayo Marshall de una misma mezcla pero a diferentes tiempos de estacionamiento.
- ❖ También se debe evaluar cómo afecta la pérdida y reposición de la humedad en la mezcla. Esto se realiza preparando probetas y evaluando los parámetros del ensayo Marshall en mezclas donde se ha evitado la pérdida de humedad durante su estacionamiento y en mezclas donde se ha permitido la pérdida de humedad pero que para la compactación se ha repuesto la humedad.
- ❖ En estos tipos de obra se suele dar paso al tráfico inmediatamente después de compactar la mezcla; los posibles efectos que puede ocasionar esto se debe evaluar analizando los parámetros Marshall de una probeta ensayada inmediatamente después de la compactación, es decir sin un curado previo.
- ❖ El ensayo de Desgaste de Cantabro, capítulo 5.4 , debe realizarse, una vez reanudada la producción de la emulsión CSE de la empresa BITUPER, en las futuras tesis en el marco del convenio UNI – MTC.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

- "Manual básico de emulsiones asfálticas". Instituto del Asfalto y Asociación De Fabricantes De Emulsiones Asfálticas. USA.
- DR. HOFFMAN, MARIO S. "Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos). Louis Berger International, Inc, New Jersey, U.S.A. 1985.
- FRANCESIO, CARLOS A Y VALLEJOS, HORACIO. "Calidad de mezclas en frío con emulsión catiónica". Vigésima tercera reunión del asfalto. Argentina 1985.

### Tesis:

- LA ROSA O, N. (2006): "Aplicación del aditivo químico Quim kd40 para estabilizar suelos en caminos no pavimentados: Calles del centro poblado Santa María de Huachipa". Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. UNI. Lima. Perú.
- SORIANO A, H. (2005): "Aplicación de las emulsiones asfálticas en los pavimentos". Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. UNI. Lima. Perú.
- CASTRO H, N. (1977): "Evaluación de los resultados de la estabilización de suelos con asfalto – ensayo de especímenes a tamaño real". Facultad de Ingeniería Civil. UNI. Lima. Perú.

**Normas:**

- **"Manual de ensayos de materiales (ME 2000)". Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima. Perú (2000).**
  
- **"Norma técnica de estabilizadores químicos MTC E 119. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima. Perú (2004).**
  
- **DR. MIGUEL ANGEL DEL VAL MELUS & DR. ALBERTO BARDESI ORUE ECHEVARRIA. "Manual de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico - España". Madrid, España Junio del 2001**

**Expedientes:**

- **"Propuesta de diseño técnico de cambio de estándar de afirmado a solución básica". Expediente técnico carretera: Cañete – Lunahuana – Pacarán – DV. Yauyos – Ronchas – Chupaca. Consorcio de Gestión de Carreteras. Lima. Perú (2008).**