



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON
EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA
PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS**

Marvin Rubén Juárez Recinos
Asesorado por el Ing. Mario Aurelio Meléndez Moreira

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN
ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL
MANTENIMIENTO DE CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MARVIN RUBÉN JUÁREZ RECINOS

ASESORADO POR EL ING. MARIO AURELIO MELÉNDEZ MOREIRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I: Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II: Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III: Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV: Br. Milton De León Bran
VOCAL V: Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

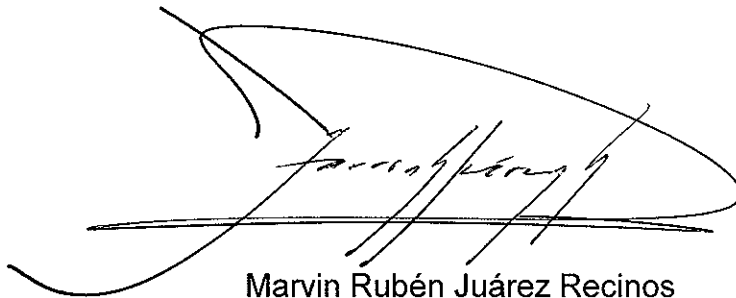
DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR: Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR: Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR: Ing. René Rolando Vargas Oliva
SECRETARIO: Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 22 de octubre de 2008.



Marvin Rubén Juárez Recinos

Guatemala, 22 de octubre de 2008

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador del área de materiales y construcciones civiles
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Quiñónez de la Cruz.

Por este medio le informo que como Asesor del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Civil, **MARVIN RUBÉN JUÁREZ RECINOS**, procedí a revisar el trabajo de graduación, cuyo título es: **“ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS”**.

Cabe mencionar que la investigación realizada, constituye un valioso aporte a la Universidad y a la solución de la problemática que padece la red vial no pavimentada del país.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle tramite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Mario Aurelio Meléndez Moreira
Asesor

Ing. Mario Aurelio Meléndez Moreira
Ingeniero Civil
Colegiado No. 3,132



Guatemala,
28 de octubre de 2008

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Estimado Ing. Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Marvin Rubén Juárez Recinos, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Aurelio Meléndez Moreira.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Juárez Recinos, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

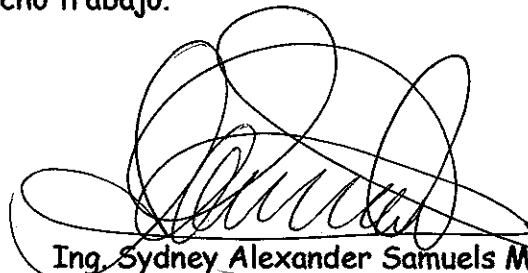

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Aurelio Meléndez Moreira y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Marvin Rubén Juárez Recinos, titulado ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, noviembre 2008.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Rubén Juárez Recinos**, autoriza la impresión del mismo

IMPRÍMASE.

Ing. **Murphy Olympo Paiz Recinos**
Decano



Guatemala, noviembre de 2008

/cc
cc. archivo

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS:** Por haber guiado mis pasos y permitirme alcanzar esta meta.
- MIS PADRES:** Rubén Raúl y Vilma Yolanda, por el esfuerzo, cariño y dedicación que me brindaron en mi formación integral.
- MI ESPOSA:** Peggi Diana Alesandra, por su apoyo, su amor y su cariño.
- MIS HIJOS:** Diego Alejandro, Michelle Alesandra y Laura Elizabeth, por ser la fuente de energía que motiva alcanzar cada meta.
- MIS HERMANOS:** Silvia, Rosa Linda, Francisco, Ciro y Manuel; por su apoyo incondicional y sincero.
- MIS AMIGOS:** Por su colaboración para culminar con éxito este trabajo.
- EN ESPECIAL A:** Ing. Mario Meléndez e Ing. Héctor Carranza, por su enseñanza y brindarme su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES	
1.1 Cemento Asfáltico	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Definición	1
1.1.3 Propiedades	2
1.1.4 Ensayos	3
1.2 Emulsiones Asfálticas	
1.2.1 Antecedentes	4
1.2.2 Emulsiones	4
1.2.2.1 Definición	4
1.2.2.2 Tipos de emulsiones	6
1.2.2.3 Estabilidad de las emulsiones	6
1.2.2.4 Emulsiones asfálticas	7
1.2.2.5 Tipos de emulsiones asfálticas	8
1.2.2.6 Rompimiento de las emulsiones asfálticas	10
1.2.2.7 Emulsificantes	11
1.2.2.7.1 Definición	11

1.2.2.8	Otro componente de las emulsiones y sus funciones.	13
1.2.2.8.1	Cloruro de calcio	13
1.3	Balasto	
1.3.1	Definición	14
1.3.2	Características	14
1.3.3	Propiedades	15
1.3.4	Función	16
1.3.5	Ensayos de laboratorio de suelos	16
2.	ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	
2.1	Descripción	19
2.2	Metodología	19
2.3	Control de calidad	22
2.4	Prueba de estabilidad Marshall	22
3.	ELABORACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS	25
3.1	Proceso en plantas tipo Batch (Discontinuas)	27
3.2	Proceso en plantas en línea	28
3.3	Pruebas	29
3.3.1	Porcentaje de residuo asfáltico	29
3.3.2	Asentamiento	30
3.3.3	Viscosidad	31
3.3.4	Retenido en malla # 20	32
3.3.5	Tamaño de la partícula	33
3.3.6	Descarga de partícula	34
3.3.7	Demulsibilidad	35

3.4	Curado	36
3.4.1	Factores que afectan la rotura y el curado	36
3.5	Almacenamiento	37
3.6	Manipulación de la emulsión	37
4.	APLICACIÓN ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	
4.1	Generalidades	39
4.2	Características	40
4.3	Antecedentes	41
4.4	Metodología	43
4.5	Control de calidad	49
5.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS	
5.1	Costo del mantenimiento tradicional	51
5.2	Costo de la estabilización con emulsión	54
5.3	Comparación descriptiva de método tradicional versus estabilización con emulsión	55
5.4	Análisis costo - beneficio de la estabilización	57
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	65
	APÉNDICE	67
	ANEXOS	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Fases de la emulsión	5
2	Tipo de carga de la emulsión	8
3	Escarificación, mezcla y homogeneización de la capa de balasto	20
4	Regadora de agua y emulsión asfáltica	21
5	Tendido y conformación de sección típica	21
6	Rodo liso	22
7	Anillo de carga con indicador medidor de flujo, molde de estabilidad	23
8	Planta para producir emulsión asfáltica	25
9	Detalle de los componentes de una planta en línea para producir emulsiones asfálticas	26

10	Ensayo de destilación para emulsión asfáltica	30
11	Ensayo de asentamiento	31
12	Ensayo de viscosidad Saybolt – Furol	32
13	Ensayo retenido en malla # 20	33
14	Ensayo determinación de tamaño de partícula	34
15	Ensayo descarga de partícula	35
16	Ubicación proyecto	40
17	Condiciones iniciales del tramo carretero	42
18	Erosión y pérdida de sección típica	42
19	Escarificación del tramo	44
20	Humedecimiento del material	45
21	Mezcla y homogeneización del material	45
22	Riego de emulsión asfáltica	47
23	Mezcla con la emulsión	47
24	Homogeneización con la emulsión	48

25	Compactación del material estabilizado	48
26	Trabajo final	49
27	Extracción de núcleo	50
28	Reporte mensual de lluvia	41
29	Porcentaje de incidencia de costo del mantenimiento tradicional durante el primer año	53
30	Porcentaje de incidencia de costo del mantenimiento tradicional durante el tercer año en adelante	53
31	Porcentaje de incidencia de costo de la estabilización con emulsión	54
32	Costo acumulado por kilómetro, método tradicional versus estabilización con emulsión	57

TABLAS

I	Usos de los materiales asfálticos	3
II	Clasificación de las emulsiones asfálticas de acuerdo a su contenido de cemento asfáltico	9
III	Adición de porcentajes típicos de emulsificantes	12
IV	Clasificación del suelo de acuerdo a su CBR	17

SÍMBOLOS

°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
cSt	Centístoques
pH	Potencial de hidrógeno
Kg	Kilogramo
Lb	Libra
p	Pie
m	Metro
lt	Litro
gls	Galones

GLOSARIO

COVIAL	Unidad Ejecutora de Conservación Vial
INE	Instituto Nacional de Estadística.
AASHTO	Asociación Americana de Carreteras y Transportes Estatales y oficiales.
ASTM	Asociación Americana de Pruebas de Materiales
Escarificar	Remover el suelo de la carretera con el escarificador.
Homogeneización	Volver homogénea una mezcla.
Sinuosa	Que forma curvas u ondulaciones
Sección típica	Corte transversal de una carretera.
CBR	Capacidad soporte del suelo
Ósmosis	Fenómeno que consiste en el paso recíproco de líquidos de distinta densidad a través de una membrana semipermeable que los separa.
Inflación	Aumento general de precios que trae aparejada la depreciación monetaria.

RESUMEN

En Guatemala el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, por medio de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial, coordina las acciones para que exista transitabilidad en las carreteras. La red vial cuenta con un 85% de caminos de terracería, y su mantenimiento tradicional debe ser realizado frecuentemente para que se encuentren en condiciones aceptables de transitabilidad. Además se ha observado que los bancos de materiales se están agotando o están muy distantes, lo cual incrementa la inversión en acarreo.

Por medio del presente trabajo de graduación se evaluó la opción de realizar el mantenimiento adicionando emulsión asfáltica al balasto existente para estabilizarlo y lograr que se conserve por períodos más prolongados. Se realizó una descripción de los materiales que la componen, la aplicación práctica y el análisis comparativo de los costos de ambos tipos de mantenimiento, para determinar su aporte en beneficios tangibles e intangibles.

OBJETIVOS

❖ GENERAL:

Dar a conocer la aplicación de emulsiones asfálticas en la capa de rodadura de material balasto, para mejorar el estado físico de las carreteras no pavimentadas, la calidad de su servicio y reducir el costo de mantenimiento.

❖ ESPECÍFICOS:

1. Conocer el proceso para producir emulsiones asfálticas.
2. Explicar el procedimiento para realizar la estabilización.
3. Determinar el control de calidad que se debe llevar.
4. Evitar pérdida de material de balasto en la sección.
5. Reducir el mantenimiento periódico.
6. Incrementar la duración de las carreteras no pavimentadas con rodadura de material de balasto.
7. Reducir el tiempo de transitabilidad del usuario.
8. Reducir el impacto ambiental.
9. Establecer el costo – beneficio.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación que se presenta a continuación, pretende impartir una comprensión básica de un método para mejorar el estado físico de las carreteras de la red vial no pavimentada que poseen material de balasto, por medio de la aplicación de emulsiones asfálticas. Éstas fueron desarrolladas por primera vez a comienzos del siglo XX, generalizando su uso a las aplicaciones viales en los años 20, para aplicaciones de riego y como paliativos de polvo. Su uso creció lentamente por la limitación del tipo de emulsiones disponibles y por la falta de conocimientos sobre su correcta aplicación. En la actualidad se ha desarrollado una amplia gama, obteniendo sustanciales beneficios económicos y ambientales. Hay varios factores que han contribuido al interés en el uso de las emulsiones asfálticas, siendo los principales: la crisis energética de comienzos de los años 70, debido a que la producción de emulsiones asfálticas no requiere la incorporación de solventes de petróleo ni de calentamiento; además reduce la polución atmosférica, eliminando sustancias hidrocarbonadas. Cada día los bancos de material balasto se agotan o están muy distantes, por lo que se hace necesario crear mecanismos en los cuales se conserve por períodos largos y que sea reciclable.

En el desarrollo del trabajo se hace una descripción de los materiales que componen las emulsiones asfálticas, antecedentes, definición, características, propiedades, clasificación, proceso de producción, metodología de trabajo, etc. Finalmente, se realiza una evaluación económica para establecer el costo – beneficio.

1. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

1.1 Cementos asfálticos

1.1.1 Antecedentes

El cemento asfáltico fue conocido aproximadamente en el año 2500 a. C. en Egipto, aunque sólo se usaba como agente momificante y para el calafateo de barcos; los Sumerios lo empleaban para impermeabilizar aljibes. En 1802 se inició el uso para la construcción de carreteras. Nombres con que se conoce el cemento asfáltico: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, chapopote. El asfalto de petróleo es el principal cemento asfáltico usado actualmente, aunque aún se emplee en otros países el asfalto natural. El alcance del asfalto natural es relativamente pequeño, comparado con los 35 millones o más de toneladas de asfalto de petróleo utilizados cada año. El asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad que el natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

1.1.2 Definición

En lo que se refiere a construcción de carreteras, el cemento asfáltico es un material ligante de color marrón oscuro a negro, que está

constituido por diferentes betunes, cuyo origen pueden ser natural o bien, obtenido por la refinación del petróleo. Por lo tanto, el cemento asfáltico es un constituyente del petróleo crudo. Usualmente, los petróleos se clasifican de la siguiente manera, según la proporción de asfalto que contengan:

1. Petróleos crudos en base asfáltica (asfáltenos).
2. Petróleos crudos en base parafínica (contiene parafina pero no asfalto, maltenos).
3. Petróleos crudos en base mixta (contiene parafina y asfalto).

El petróleo crudo extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado. Debido a que el asfalto es la base o el constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. En consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos arquitectónicos o ingenieriles.

1.1.3 Propiedades

- Insolubilidad en agua
- Resistencia a la intemperie
- Ductilidad
- Elasticidad
- Adhesividad

Tabla I. Uso de los materiales asfálticos

Material Asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración de carpetas en frío, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración de carpetas en frío y para la imprimación de sub-bases y bases hidráulicas.

Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (5).

1.1.4 Ensayos

- Penetración
- Viscosidad
- Punto de inflamación
- Punto de reblandecimiento
- Ductilidad
- Solubilidad
- Penetración retenida después del ensayo de película delgada.

1.2 Emulsiones asfálticas

1.2.1 Antecedentes

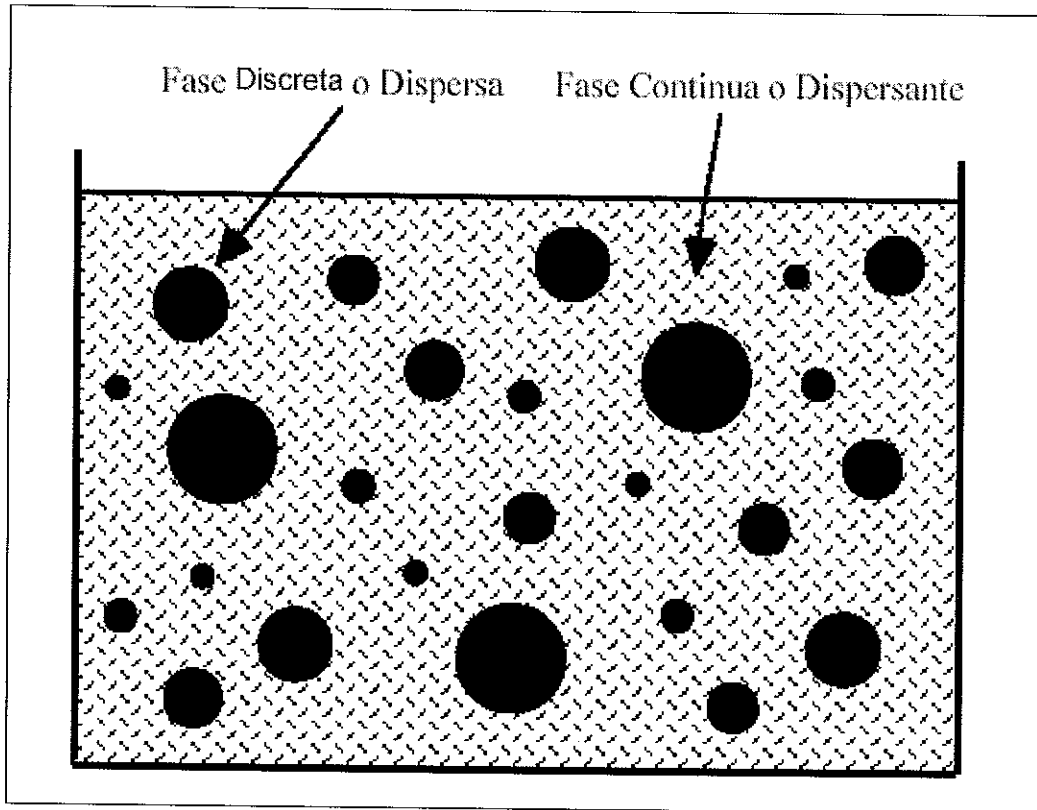
Aunque se encuentre referencias del uso de emulsiones o dispersiones de alquitrán en agua para la pavimentación de las carreteras hacia principios del siglo XX, no es hasta 1,922 cuando aparece la primera patente de una emulsión de betún y se conocen fábricas de emulsiones en Estado Unidos, Francia, Inglaterra Alemania, etc. El objetivo que se perseguía al utilizar emulsiones era conseguir que la puesta en obra del ligante asfáltico, pudiera realizarse a temperatura ambiente sin necesidad de calentarlo. Estas primeras emulsiones son de naturaleza aniónica. Posteriormente en la década de los 50 aparecen las catiónicas. Poco a poco fue aumentando su aplicación en la pavimentación de carreteras y hasta la fecha ha ido desplazando a los asfaltos rebajados.

1.2.2 Emulsiones

1.2.2.1 Definición

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

Figura 1. Fases de la emulsión



Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (5).

Existe una dimensión lineal en el tamaño de la fase discreta entre un nanómetro y una micra. Debido al tamaño tan pequeño las emulsiones adquieren propiedades muy importantes. Las emulsiones son tan complejas, ya que involucra física, química, biología, etc. Hay varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; dentro de éstas se encuentran las emulsiones, las que son dispersiones de un líquido en otro. Lo que a las emulsiones le da más propiedades no es su composición química, ni su origen, ni su estado físico, si no su tamaño. En conclusión a las emulsiones le interesan las moléculas grandes y los sistemas macroscópicos.

1.2.2.2 Tipos de emulsiones

- 1) Las formadas por macromoléculas en solución (sistema de una fase)
- 2) Las formadas por materia finamente dividida (sistema de 2 o más fases).

Las emulsiones se dividen en:

- 1) Liofílicas: Si a la partícula le gusta el solvente.
- 2) Liofóbicas: Si a la partícula no le gusta el solvente.

Cuando el medio es agua entonces

Liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico

1.2.2.3 Estabilidad de las emulsiones

Las emulsiones que forman una verdadera solución, estables indefinidamente son las liofílicas. A diferencia de las emulsiones liofóbicas, tratan de separarse en dos fases con el objeto de disminuir la energía libre superficial de Gibbs, volviéndose inestables. En una emulsión, a mayor área superficial tenga la dispersión, mayor será la energía libre superficial de Gibbs. Por consiguiente las emulsiones liofílicas son termodinámicamente estables, y las liofóbicas son termodinámicamente inestables. La inestabilidad de las emulsiones se da cuando las partículas se comienzan a unir formando partículas más grandes llamados agregados. A este proceso se le conoce como: La floculación o coagulación y la coalescencia.

- Floculación o Coagulación: Es el proceso en el cual se unen dos partículas para formar partículas más grandes, en este caso no se pierde la identidad original, ni el área superficial, solo se imposibilitan algunos sitios activos.
- Coalescencia: Es el proceso en el cual se unen varias partículas para formar partículas más grandes, el área total es reducida y pierde la identidad original.

Hay dos mecanismos para poder estabilizar los sistemas coloidales:

- Estabilización por carga eléctrica: Se logra colocando una carga eléctrica neta en la superficie de las partículas, y por repulsión electrostática se estabiliza la dispersión.
- Estabilización estérica: Se alcanza utilizando moléculas de polímero en la superficie de las partículas, ya que al incrementar la concentración de monómero en la región de traslape; produce una presión osmótica que provoca que se separen las cadenas poliméricas y que se repelen.

1.2.2.4 Emulsiones asfálticas

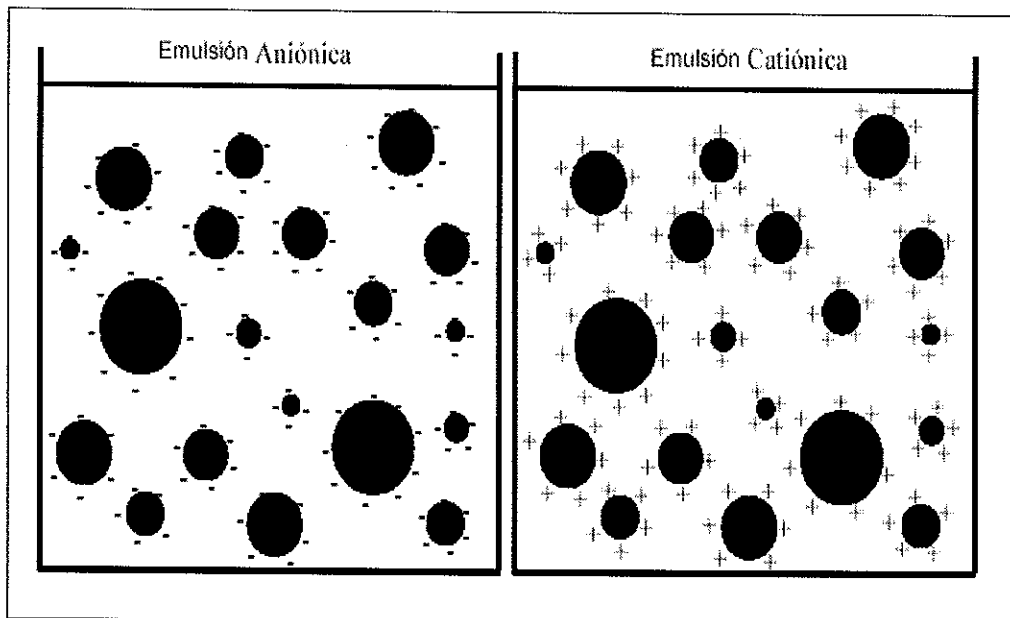
Al referirnos a emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el cemento asfáltico. Al agregarle un emulsificante, éste actúa en la interfase para lograr estabilizar la emulsión.

1.2.2.5 Tipos de emulsiones asfálticas

Se clasifican de acuerdo al tipo de emulsificante, el cual puede ser de dos tipos:

- Emulsiones aniónicas: En este caso el emulsificante provee una polaridad negativa a los glóbulos, adquiriendo una carga negativa.
- Emulsiones catiónicas: En este caso el emulsificante provee una polaridad positiva a los glóbulos, adquieren una carga positiva.

Figura 2. Tipo de carga de la emulsión



Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (5).

Con relación a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, pueden clasificarse en:

- De rompimiento rápido: Se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, excepto la emulsión conocida como ECR-60.
- De rompimiento medio: Son utilizadas para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, principalmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, además en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
- De rompimiento lento: Son utilizadas para carpetas de mezcla en frío, elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Son utilizadas para imprimaciones de sub-base y/o bases hidráulicas.
- Super estables: Son utilizadas en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

De acuerdo al contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican de la siguiente manera:

Tabla II. Clasificación de las emulsiones asfálticas de acuerdo a su contenido de cemento asfáltico

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa	Tipo	Polaridad
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para imprimación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para imprimación	

Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (5).

1.2.2.6 Rompimiento de las emulsiones asfálticas

Para llevar control sobre las emulsiones asfálticas, se debe monitorear el rompimiento de la misma. Después de su aplicación se deja un tiempo, el cual depende de lo que se este trabajando. Las emulsiones deben desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo. El rompimiento de la emulsión sucede por la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permite que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; siendo estos agregados los que se depositan sobre el material pétreo para formar una capa asfáltica. En el proceso, el agua es eliminada del sistema asfalto – pétreo. A esta etapa de desestabilización de la emulsión se le llama emulsión inversa, ya que el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, es decir que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, finalmente son eliminadas, quedando una capa de asfalto. Los factores que influyen en el rompimiento de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. El rompimiento de la emulsión catiónica se da por la absorción de la parte polar del emulsificante por los agregados, haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aún en presencia de humedad.

1.2.2.7 Emulsificantes

1.2.2.7.1 Definición

Son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica, que es soluble en el medio orgánico (en este caso es el asfalto) y una parte hidrofílica soluble en el medio acuoso. Estos se componen generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. Éste es el que define el tipo de emulsión: Los emulsificantes aniónicos, tienen grupos ácidos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; éstos tienen como fórmula general:



Cuando este tipo de emulsificantes se encuentra en un medio acuoso se disocia resultando:



Separándose del grupo carboxilato COO^- forma la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica. Los emulsificantes catiónicos por lo general forman grupos aminos con carga eléctrica positiva y con fórmula general $R-NH_3Cl$. Cuando este tipo de emulsificante actúa en un medio acuoso se disocia resultando:



Separándose el grupo amino NH_3^+ se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica. Los emulsificantes se sitúan en su mayor parte en la "interfase" de la producción

de las emulsiones. Su parte hidrofóbica se dirige al asfalto y su parte polar hacia el agua. Con estos emulsificantes iónicos las partículas adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos y estabilizando el sistema. Generalmente se requiere de más emulsificante para proveer buena estabilidad y las correctas propiedades de rendimiento más del necesario para llenar la fase intermedia, de tal manera que las emulsiones asfálticas contienen emulsificantes "libres" presentes en soluciones como soluciones micelares en la fase acuosa, lo cual actúa como una reserva de emulsificante ayudando a prevenir coalescencia durante la emulsificación, almacenamiento y transporte. La molécula de un emulsificante es mucho más pequeña que una partícula de asfalto y cada partícula está estabilizada por miles de moléculas de emulsificantes.

Tabla III. Adición de porcentajes típicos de emulsificantes

Tipo de emulsión	Emulsificante %	pH de emulsión	Tipo de emulsificante
Catiónica de ruptura - rápida	0.15 – 0.25	2.0 - 4.0	grasa diamina
Catiónica de ruptura - media	0.30 – 0.60	1.5 - 4.0	grasa diamina
Catiónica de ruptura - lenta	0.80 – 2.00	2.0 - 5.0	amina cuaternaria
Aniónica de ruptura - rápida	0.20 – 0.40	10.5 - 12.0	resina ácida
Aniónica de ruptura - media	0.40 – 0.80	10.5 - 12.0	resina ácida
Aniónica de ruptura - lenta	1.20 – 2.50	7.5 -12.0	lignosulfonato no-niónico

Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (5).

1.2.2.8 Otro componente de las emulsiones y sus funciones

1.2.2.8.1 Cloruro de calcio

El cloruro de calcio y otras sales solubles son usadas principalmente en la fase acuosa de las emulsiones catiónicas con niveles entre el 0.05 – 0.20 %. Dependiendo el lugar de explotación del cemento asfáltico, éste puede contener sales, las cuales pueden causar hinchamiento por ósmosis en las partículas de una emulsión, dando por resultado incremento en la viscosidad en las emulsiones. Posteriormente al perder la sal el cemento asfáltico disminuye la viscosidad. Con el cloruro de calcio se reduce la ósmosis de la partícula de asfalto y el incremento de la viscosidad durante su almacenaje. Además reduce el asentamiento de emulsiones e incrementa la densidad de la fase acuosa y en algunas oportunidades mejora la acción de los emulsificantes.

1.3 Balasto

1.3.1 Definición

Es un material clasificado que se coloca sobre la sub-rasante terminada de una carretera, con el fin de protegerla y que sea utilizada como superficie de rodadura.

1.3.2 Características

El balasto debe ser de calidad uniforme y estar libre de materia orgánica. El material de balasto debe tener un peso unitario suelto, no menor de 1,450 Kg./metro³ (90 lb./pie³). El tamaño máximo del agregado grueso del balasto, no debe ser mayor de $\frac{2}{3}$ partes del espesor de la capa y no debe ser mayor de 10 centímetros. La porción del balasto retenida en el tamiz 4.75 mm (N° 4), debe estar comprendida entre el 60% y el 40% en peso y debe tener un porcentaje de abrasión no mayor de 60. La porción que pase el tamiz 0.425 mm (N° 40), debe tener un límite líquido no mayor de 35, y un índice de plasticidad entre 5 y 11. La porción que pase el tamiz 0.075 mm (N° 200), no debe ser mayor de 15% en peso. Las características peso, granulometría, desgaste y plasticidad sirven para que el material contrarreste la erosión, para evitar la fragmentación de los agregados gruesos y a mantener unidas las partículas que componen el material, es decir, que la curva granulométrica ayuda al acomodamiento del material y la plasticidad al amarre de los agregados finos con los gruesos. El espesor total de la capa de balasto no debe ser menor de 10 centímetros ni mayor de 25 centímetros. La capa de balasto previo a ser colocada se debe conformar la sub-rasante,

escarificando y compactando superficialmente. En los lugares donde se encuentre material inadecuado, éstos deben ser removidos hasta una profundidad de por lo menos 30 centímetros y reemplazados con material apropiado. Todas las rocas o piedras grandes que se encuentren en el la sección típica de la carretera, se deben excavar hasta los límites laterales de la misma, a una profundidad por lo menos de 30 centímetros debajo de la sub-rasante. La capa de material de balasto se debe compactar como mínimo al 95% de la densidad máxima, como se indica en las Normas y Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes.

1.3.3 Propiedades

1. Estabilidad: Es la propiedad física, química y mecánica que evita cambios significativos en el material al ser sometido a cargas producidas por el tránsito vehicular.
2. Durabilidad: Es la propiedad del balasto, mediante la cual se garantiza la duración de la capa de rodadura en un período de tiempo.
3. Flexibilidad: Es la propiedad de adaptarse convenientemente a la superficie de la subrasante y a los cambios provocados por el tránsito vehicular.
4. Resistencia a la fatiga: Es la capacidad de resistir la carga provocada por el tráfico vehicular.

5. Impermeabilidad: La capa de balasto debe poseer esta propiedad, de evitar transmitir el agua a la capa de la subrasante.
6. Trabajabilidad: Capacidad de ser trabajable, es decir, el material debe permitir ser homogeneizado, humedecido, mezclado, conformado y compactado.

Función

1. Soportar las cargas y transmisión hacia la sub-rasante.
2. Absorber esfuerzos horizontales.
3. Resistir el fenómeno de fatiga, considerando las repeticiones de carga.
4. Evitar deformaciones permanentes.
5. Debe ser una superficie impermeable y con características favorables de planicidad.
6. Impermeabilizar la sub-rasante.

Ensayos de laboratorio de suelos

- Peso Unitario
- Granulometría
- Compactación
- Determinación de humedad
- Abrasión
- Límites de consistencia
- Ensayo de CBR (Soporte de suelos)

Tabla IV. Clasificación del suelo de acuerdo al CBR

CBR	CLASIFICACIÓN
0 – 5	Sub-rasante muy mala
5 – 10	Sub-rasante mala
10 – 20	Sub-rasante regular a buena
20 – 30	Sub-rasante muy buena
30 – 50	Sub-base buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial (2).

2. ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN

2.1 Definición

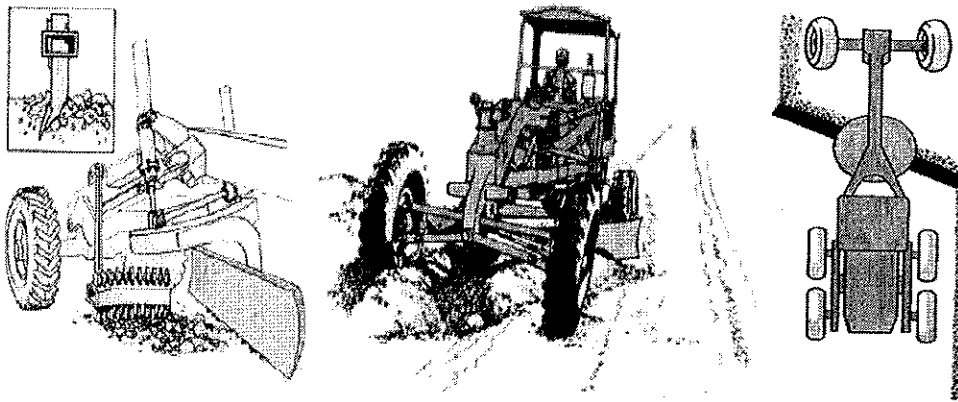
Conjunto de procesos mecánicos, físicos y químicos tendientes a modificar las propiedades del suelo in situ, para mejorar la adherencia, capacidad soporte y susceptibilidad a la humedad, con el objeto de mantener la capa de rodadura en condiciones adecuadas de transitabilidad, utilizando emulsiones catiónicas de rompimiento lento, ya que proporciona un adecuado período de tiempo para realizar las tareas de homogeneización, conformación y compactación. La emulsión diseñada debe cumplir con las especificaciones AASHTO M-208 o ASTM D-2397 (Especificaciones estándar para emulsiones asfálticas catiónicas) y ensayos AASHTO T-59 (Método estándar de pruebas para emulsiones asfálticas).

2.2 Metodología

1. Extraer muestra de material de balasto (dos pies cúbicos), para evaluar en laboratorio la granulometría, peso unitario, el índice plástico, abrasión, equivalente de arena, humedad óptima del material premezclado y estabilizado, establecer que tipo y porcentaje de emulsión asfáltica se le debe adicionar. Con estos datos se procede a realizar el diseño de la estabilización, con el fin de obtener un contenido óptimo de emulsión en base al peso unitario del material. Este diseño puede hacerse evaluando la estabilidad Marshall máxima alcanzada.
2. Chequear si la capa de balasto tiene un espesor mínimo de 15 centímetros, de ser menor se deberá completar.

3. En campo se procede a escarificar, mezclar y homogeneizar la capa de balasto a una profundidad de 15 centímetros con una motoniveladora (como lo dicta las Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial, en la sección 211), de tal manera que el material debe ser pulverizado hasta que el 100% pase el tamiz de 3".

Figura 3. Escarificación, mezcla y homogeneización de la capa de balasto



Fuente: Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial (2).

4. Chequear la humedad del material en campo, respecto al resultado obtenido en el laboratorio. Si se encuentra por debajo del óptimo es necesario humedecerlo por medio de la distribuidora de agua, si se encontrara arriba del requerido se procede a orear el material. Posteriormente aplicar la emulsión para complementar la humedad óptima de compactación. Este procedimiento se realiza por medio de un camión cisterna que trabaje con una barra de riego a gravedad, ésta deberá llevar una velocidad calibrada, a efecto de garantizar un riego continuo y uniforme. Algunas veces será necesario realizar el riego de la emulsión asfáltica en dos o tres etapas mezclando y homogeneizando el material entre cada una de ellas.

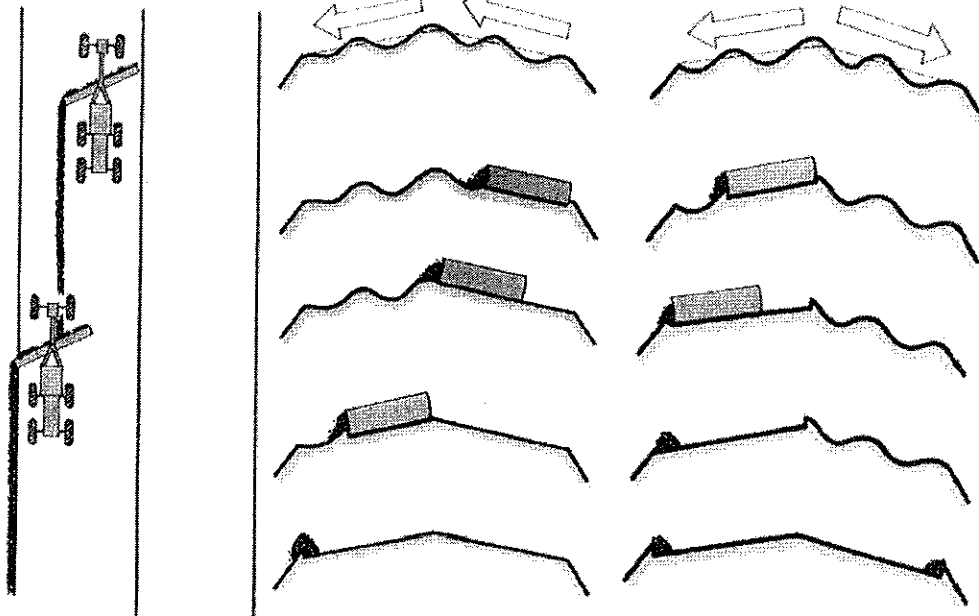
Figura 4. Regadora de agua y de emulsión asfáltica



Fuente: Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial (2).

5. Tender y conformar el material según la sección típica.

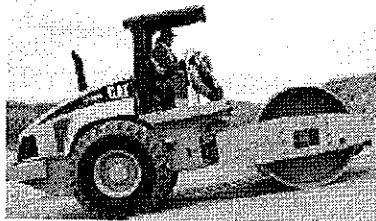
Figura 5. Tendido y conformación de sección típica



Fuente: Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial (2).

6. Compactar con rodillo liso, rodando de la cuneta hacia la línea central, posteriormente vibrar hacia delante en amplitudes y frecuencias bajas.

Figura 6 Vibrocompactador con rodo liso



Fuente: Línea de productos CAT (8).

2.3 Control de calidad

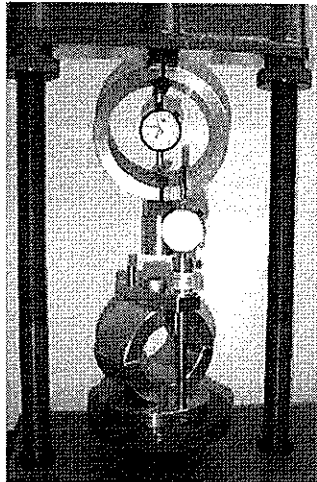
- Chequear la compactación que cumpla como mínimo al 95% de la densidad del espécimen compactado en laboratorio de acuerdo con AASHTO T-245. Esta evaluación debe realizarse cada 600 m²
- Corroborar a los siete días la estabilidad Marshall, compararlo con el resultado de laboratorio.
- Verificar que el contenido de cemento asfáltico residual se encuentre dentro de lo programado.

2.4 Prueba de estabilidad Marshall

La prueba Marshall mide la estabilidad mediante el empleo de un principio de resistencia a la compresión y al corte en muestras semilibres. De acuerdo con este principio, a la masa total de una muestra compactada se le hace sufrir esfuerzos cortantes. Los esfuerzos aplicados y la

De acuerdo con este principio, a la masa total de una muestra compactada se le hace sufrir esfuerzos cortantes. Los esfuerzos aplicados y la naturaleza de la falla de la muestra son consecuencia del diseño especial del molde de prueba. La carga máxima necesaria para producir la falla de las muestras a 140° F es el índice de estabilidad. Una característica de la prueba Marshall es la medida del índice de fluidez o flexibilidad de la muestra de la prueba. Un índice bajo indica una mezcla seca y quebradiza, mientras que un índice alto es indicio de una mezcla blanda y plástica. Lo sencillo y compacto del aparato de pruebas hace que la prueba Marshall sea especialmente adaptable para emplearse en obras en el campo. Este ensayo nos da un medio útil de comprobar o determinar el porcentaje de betún presente en una mezcla bituminosa. Permite también que se haga un análisis por tamizados de la granulometría del agregado.

Figura 7. Anillo de carga con indicador, medidor de flujo, molde de estabilidad.

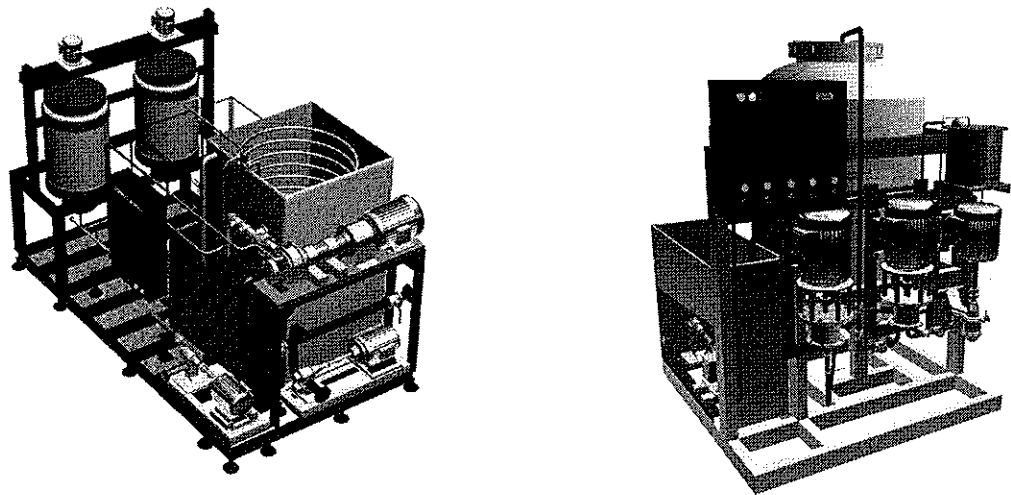


Fuente: Catálogo de Coguma (9).

3. ELABORACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

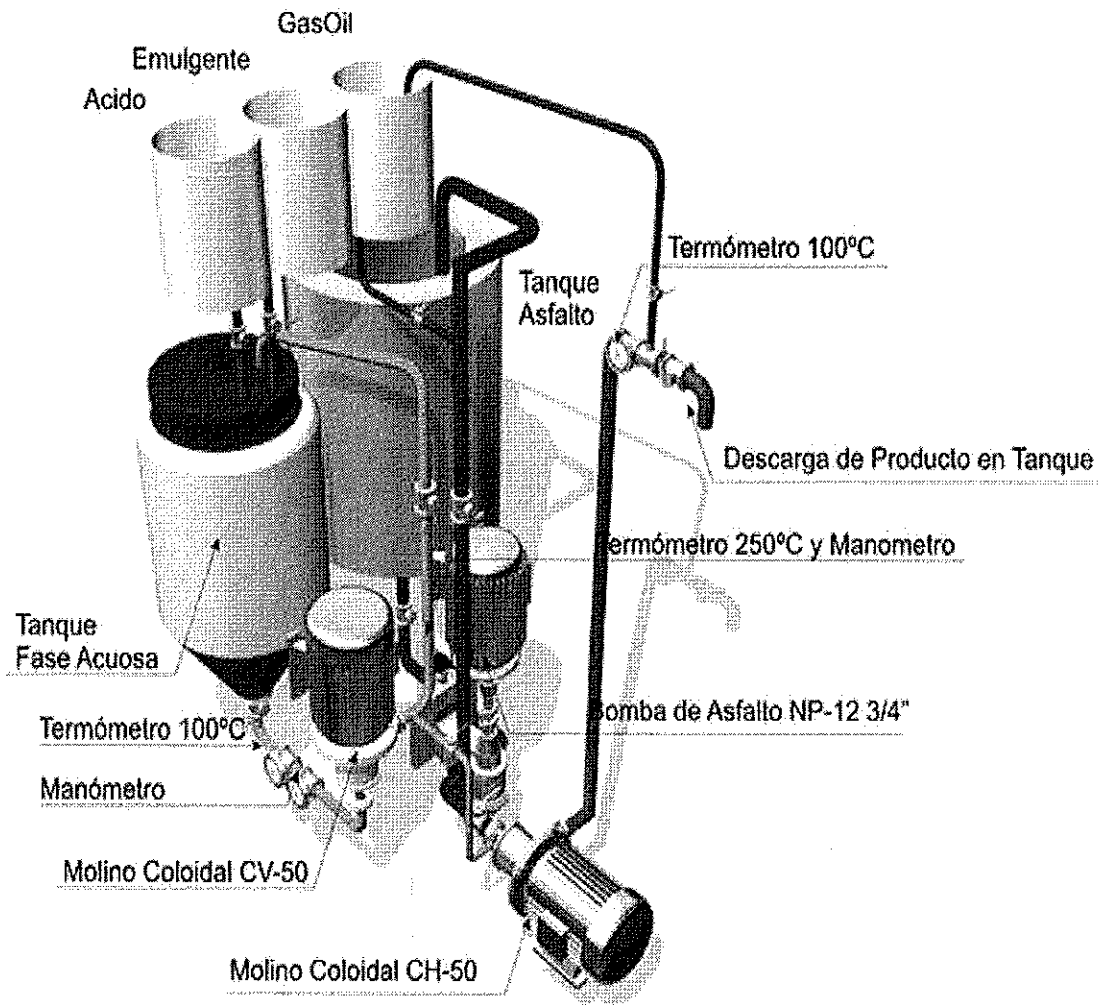
Las emulsiones asfálticas son usualmente producidas a través de un molino coloidal, sin embargo otros equipos de dispersión son posibles. En el molino coloidal la energía es aplicada al sistema pasando la mezcla del asfalto caliente y la fase acuosa entre un disco giratorio, conocido como rotor y un estator fijo. El rotor así como el estator pueden estar ranurados o dentados con la finalidad de crear flujo con turbulencia. Las emulsiones asfálticas pueden ser producidas ya sea en plantas tipo "batch" (discontinuas) o bien en proceso en línea.

Figura 8. Planta para producir emulsión asfáltica



Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Figura 9. Detalle de los componentes de una planta en línea para producir emulsiones asfálticas



Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

3.1 Proceso de producción de emulsiones asfálticas en plantas tipo Batch (Discontinuas)

El proceso batch envuelve en sí dos procedimientos, la preparación de la fase acuosa (solución jabonosa) y la producción de emulsión.

- a) Fase Acuosa: Se prepara en un tanque y se agrega agua, la cual es calentada entre 30-70°C. Posteriormente se adiciona emulsificante, ácido, estabilizadores y otros químicos, los cuales son dispersados apropiada y homogéneamente.

- b) Producción de emulsión: El proceso de emulsificación consiste en la separación o corte del asfalto en pequeñas partículas. Este proceso se opone a la cohesión interna y a la viscosidad del asfalto así como a la tensión superficial la cual se resiste a la creación de una fase intermedia. Las partículas tendrán tendencia a reunirse nuevamente (coalescer). Para lograr un tamaño de partícula pequeño, es necesario no sólo aplicar energía mecánica de la manera correcta en orden de crear partículas menores, sino también prevenir su coalescencia una vez formada. Este tamaño de partícula se relaciona con la velocidad del rotor del molino coloidal, la abertura entre el rotor y el estator, el tiempo de permanencia en el molino coloidal, la concentración y tipo de emulsificante y la temperatura de emulsificación. Normalmente en la práctica se usa la temperatura más alta para preparar la emulsión con el fin de reducir la viscosidad del asfalto. El asfalto es calentado entre 110-160°C hasta alcanzar una viscosidad de 500 cSt o menos para poder ser bombeado al molino coloidal. Para una buena emulsión la fase asfáltica deberá tener menos de 10,000 cSt a la temperatura de emulsificación. Después se mezcla la

fase acuosa con el asfalto, luego pasa por el molino coloidal y posteriormente se traslada a los tanques de almacenamiento.

En la producción de emulsión en una planta tipo Batch o por lote, el proceso envuelve pocos flujos de materiales, lo cual permite un control manual del proceso. Por lo tanto, la adecuada medición de los componentes es un factor decisivo para la calidad de la emulsión; los controles automáticos o semi-automáticos ofrecerán un resultado más eficiente reduciendo errores humanos. Aún más, los químicos utilizados son peligrosos y corrosivos, lo cual significa que debe hacerse en sistemas cerrados en lugar de tanques abiertos, es mejor usar bombas portátiles con el fin de ofrecer un trabajo seguro y buenas condiciones ambientales. (Ver planta en dibujo 1)

3.2 Proceso de producción de emulsiones asfálticas en plantas en línea

En el proceso en línea, el agua se calienta y todos los materiales son dosificados continuamente usando bombas para cada material. La fase acuosa deberá estar diseñada a fin de proveer suficiente tiempo de reacción para que los químicos logren una adecuada estabilización y la solución jabonosa se prepare antes de que se encuentre con el asfalto. El proceso debe estar controlado automáticamente usando medidores de flujo para todos los materiales excepto el ácido, el cual deberá ser controlado de acuerdo al pH en la fase acuosa. En las plantas en línea el enfriamiento de las emulsiones puede ser efectuado por transferencia de calor del agua en proceso durante la producción. En plantas simples los flujos de materiales pueden ser calculados por medición de temperaturas, pero los medidores de flujo permiten más

precisión en la dosificación de materiales. En este proceso se trabaja de igual manera la producción de la emulsión como se describe en el inciso b) de la elaboración de emulsiones en plantas tipo Batch. (Ver planta en dibujo 2)

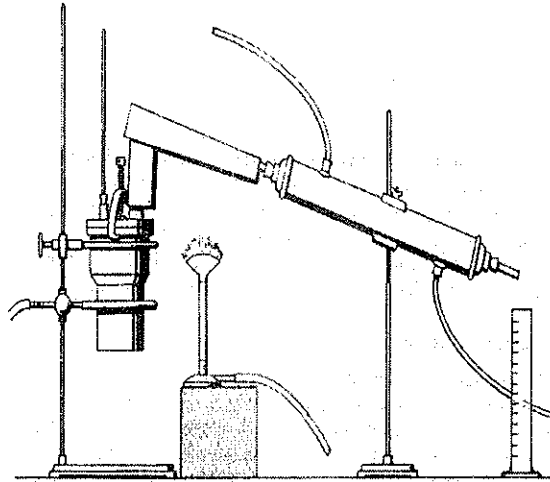
3.3 Pruebas

- Porcentaje de residuo asfáltico
- Asentamiento
- Viscosidad
- Retenido en malla # 20
- Tamaño de partícula
- Descarga de partícula
- Demulsibilidad

3.3.1 Porcentaje de residuo asfáltico

El contenido de asfalto en la emulsión puede ser determinado por simple evaporación, destilación o indirectamente determinando el contenido de agua. La destilación también puede determinar el contenido de aceite destilado en la emulsión.

Figura 10. Ensayo de destilación para emulsiones asfálticas



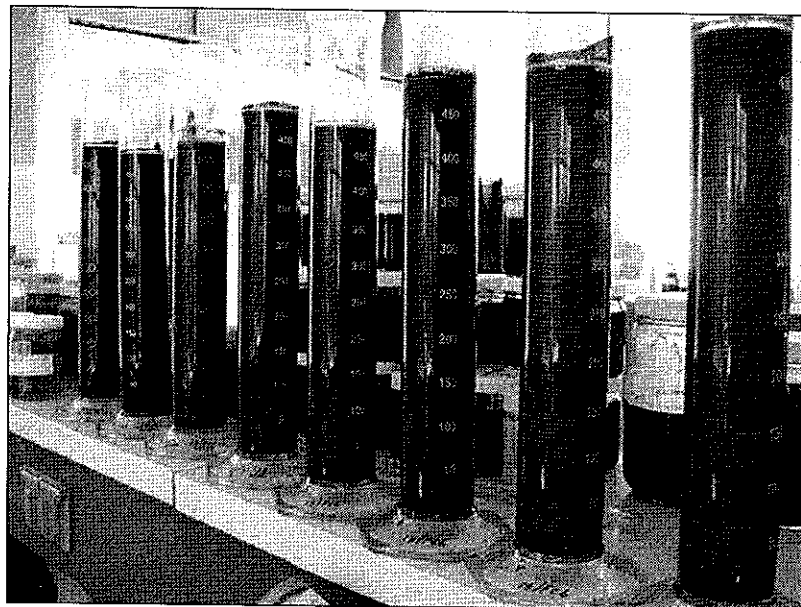
Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

3.3.2 Asentamiento

Se realiza esta prueba depositando emulsión en un cilindro, comparando el contenido de sólidos en capas superiores e inferiores posteriormente de 1 a 5 días. El asentamiento en muchos casos pueden ser revertido y dispersarse por agitación, pero las partículas significativamente muy conglomeradas pueden causar coalescencia o bien una floculación irreversible. Las emulsiones normalmente muestran asentamiento, pero las que tienen alto contenido de solvente muestran cremosidad. La cantidad que sufre asentamiento depende de la diferencia en densidades de: tamaño de las partículas, contenido de ligante y viscosidad de la fase acuosa. Deben tomarse en consideración las siguientes medidas para evitar el asentamiento: Agregar solvente, adicionar sal o incrementar la temperatura de almacenaje. Las medidas a tomar para aumentar la viscosidad son:

Agregar agentes modificadores de viscosidad. Además el cambiar la formulación de la emulsión para reducir el tamaño de partícula, puede reducir el asentamiento.

Figura 11. Ensayo de asentamiento

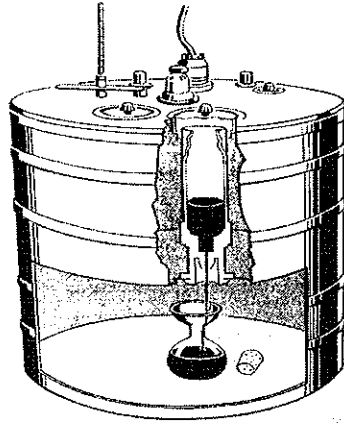


Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Viscosidad

Es determinado por el tiempo de flujo a través de un embudo o vaso de flujo con orificio estándar a la temperatura apropiada de aplicación. La principal influencia en la viscosidad de una emulsión es el contenido de asfalto en ella: Incrementándose la viscosidad a medida que el contenido de asfalto aumenta sobre el 65%.

Figura 12. Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol

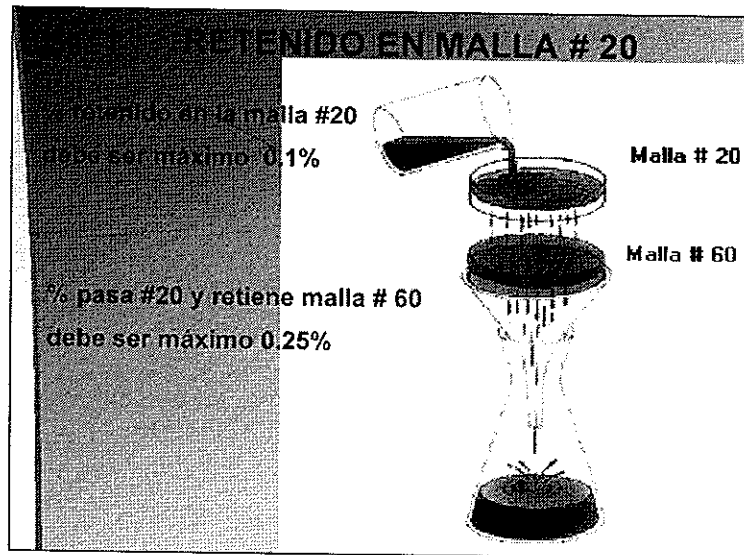


Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Retenido en malla # 20

Está especificado que generalmente como máximo entre 0.1 – 0.2% deba quedar retenido. La prueba del tamiz debe realizarse después del almacenamiento o en períodos de congelamiento – descongelamiento para determinar su estabilidad.

Figura 13. Ensayo retenido en malla # 20

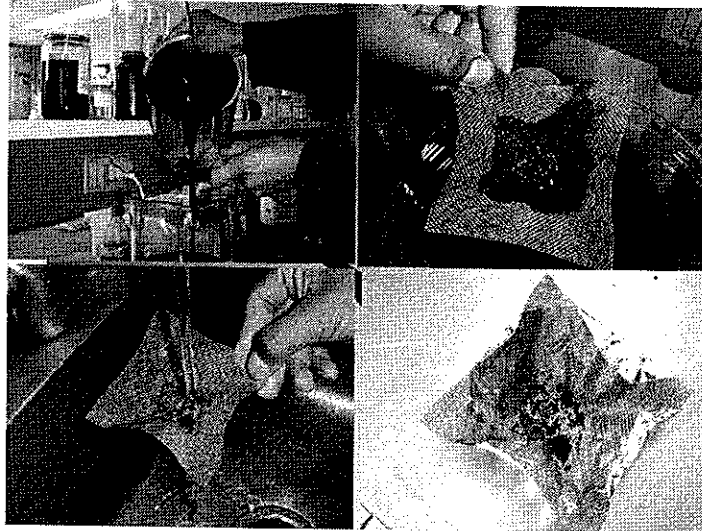


Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Tamaño de la partícula

En el residuo de la prueba del tamiz proporciona la medida de las partículas más grandes que representa sólo una pequeña porción de la emulsión. La distribución del tamaño de partícula total puede ser medida con técnicas por dispersión de luz, microscopía con análisis de imagen o por dispersión de rayos láser. Las medidas y distribución del tamaño ayudan a resolver problemas como la viscosidad, estabilidad al almacenamiento y rendimientos, así como el control de calidad en la producción de emulsiones.

Figura 14. Ensayo determinación de tamaño de partícula.

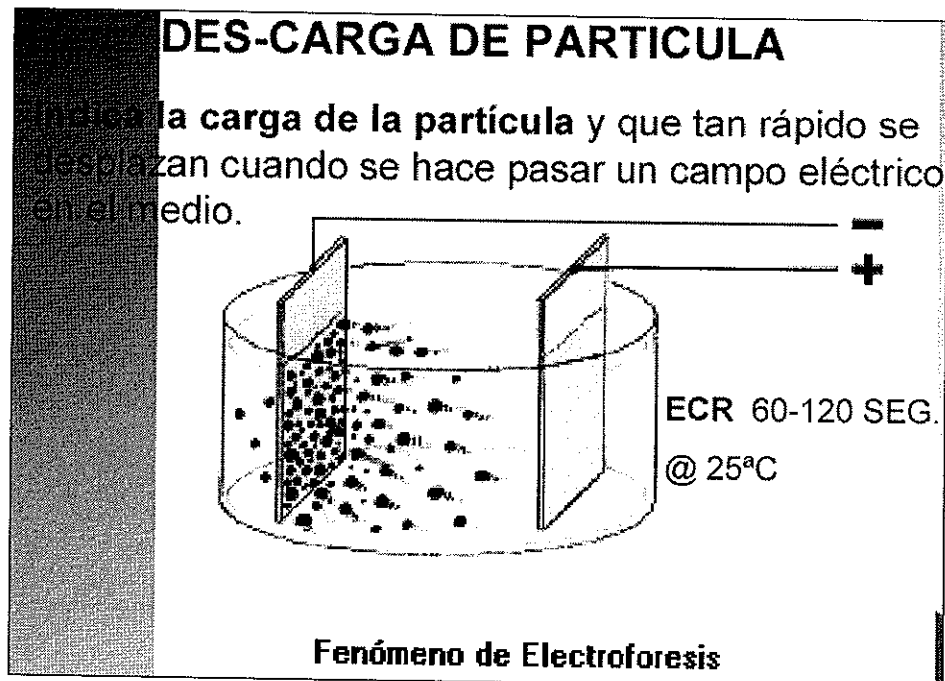


Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Descarga de partícula

Las emulsiones deben clasificarse en catiónicas o aniónicas, rápidas, medias o de ruptura lenta. Esta prueba que establece la carga de la partícula es simple electroforesis, se realiza colocando dos electrodos dentro de una emulsión; si ésta es catiónica se cubrirá el electrodo negativo ó si es aniónica se cubrirá el electrodo positivo. Además indica la velocidad a la cual se desplazan en un campo eléctrico.

Figura 15. Ensayo Descarga de partícula



Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas (5).

Demulsibilidad

En esta prueba la emulsión es valorada (titración) con una solución antagónica, la que causa rotura de la emulsión. Las emulsiones catiónicas son valoradas con un surfactante aniónico y las emulsiones aniónicas con cloruro de calcio. La titración proporciona la medida de la reactividad de la emulsión. La reactividad de las emulsiones es primeramente gobernada por la selección y concentración del emulsificante y el pH de la emulsión, aunque los parámetros de fabricación pueden tener influencia.

3.4 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.

3.4.1 Factores que afectan la rotura y el curado

- Absorción de agua.
- Contenido de humedad de los agregados
- Condiciones climáticas:
 - Temperatura
 - Humedad
 - Velocidad del viento
- Fuerzas mecánicas
- Superficie específica
- Química de superficie
- Temperatura de la emulsión y el agregado
- Tipo y cantidad del emulsificante.

3.5 Almacenamiento

La emulsión asfáltica es una dispersión de finas gotitas de cemento asfáltico en agua, que tiene ventajas y desventajas propias del medio de dispersión, el agua:

- Almacenamiento de la emulsión igual que al agua entre 10°C (50°F) y 85°C (185°F).
- No permitir que la emulsión asfáltica sea calentada por encima de los 85°C
- No use 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.

3.6 Manipulación de la emulsión

- Agite suavemente durante el calentamiento, la emulsión para eliminar o reducir la formación de natas.
- Emplee bombas con apropiados pasos entre piezas para el manejo de emulsiones. Las bombas con mecanismos ajustados pueden atascarse y dejar de funcionar.
- Verifique al diluir la emulsión, la compatibilidad del agua con ésta, haciendo una prueba sobre una pequeña cantidad.

- Emplee de ser posible, agua caliente para la dilución, y siempre agregue agua lentamente a la emulsión y no emulsión al agua.
- Agite aquellas emulsiones que han estado almacenadas de forma prolongada, esto puede hacerse por recirculación.
- No diluir emulsiones 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 esta diluyendo.

4. APLICACIÓN ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.1 Generalidades

Proyecto: TR-02-2006-COVIAL

Tramos: Santa María Chiquimula – Bif. Santa Lucía La Reforma
Santa Lucía La Reforma – San Antonio Ilotenango
San Antonio Ilotenango - Xecajá

Contratista: GSED-ALFA

Contratante: Unidad Ejecutora de Conservación Vial –COVIAL-

Fecha de Ejecución: Septiembre – Octubre 2,006

Ubicación: Departamentos de El Quiché y Totonicapán.

Figura 16. Ubicación proyecto

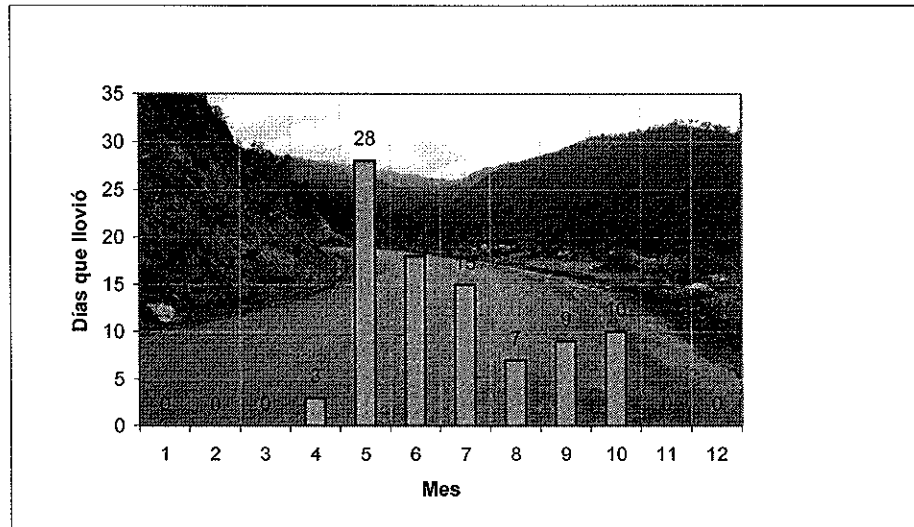


Fuente: Instituto Geográfico Nacional (10).

4.2. Características

- Topográficas: Los tramos carreteros se encuentran dentro de una zona montañosa que presenta una topografía muy sinuosa.
- Geológicas: Los suelos en la subrasante son de origen arcilloso o arenoso.
- Climáticas: La estación de invierno inicia en mayo y finaliza en octubre.

Figura 17. Reporte mensual de lluvia



Fuente: Información obtenida en campo.

4.3 Antecedentes

Se evaluó la situación de los tramos carreteros, en los cuales se observa erosión y pérdida de la sección típica, debido a la falta de drenaje transversal y longitudinal; además el material sobre la subrasante posee poca adherencia. Hay tramos en los cuales se ha perdido en su totalidad la capa de balasto, año con año la Unidad Ejecutora de Conservación Vial contrata a una empresa para su mantenimiento, la cual debe reponer cierto porcentaje de balasto y conformar dos veces al año, adicionando su duración en buenas condiciones es muy corta lo que provoca que los vehículos se deterioren constantemente.

Figura 18. Condiciones iniciales del tramo carretero



Figura 19. Erosión y pérdida de la sección típica



4.4 Metodología

- a. Se buscó bancos para reposición de la capa de balasto. Se extrajo muestras de material de dos bancos ubicados en la estación 190+350 y 202+100 del tramo que conduce de San Antonio Ilotenango (Quiché) a Xecajá (Totonicapán); y del existente en la capa de rodadura en los estacionamientos 183+650 y 201+850 del mismo tramo, para evaluar en laboratorio sus características y propiedades.
- b. Los resultados de laboratorio tanto de los bancos como del existente en la rodadura (ver Anexo sección laboratorio de suelos 1 al 4), no cumplen con la granulometría, límite líquido, índice plástico y peso unitario que indican las Normas y Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.
- c. Se buscó el banco más próximo, ubicado en San Bartolomé del Municipio de Jocotenango, Departamento de El Quiché, el cual dista a 22 kilómetros del inicio del proyecto, el cual cumple con las características de balasto (ver Anexo sección laboratorio de suelos 5).
- d. Al evaluar el acarreo que representa esta opción se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}\text{Costo por acarreo de m}^3 &= \text{Distancia (km)} \times \text{Costo acarreo (m}^3\text{-km)} \\ &= 35 \text{ kms.} \times \text{Q.4.15} \\ &= \text{Q. 145.25}\end{aligned}$$

Fuente: Integración de costos (Apéndice 3).

Este costo se vuelve oneroso, por lo que hay que evaluar otra alternativa, siendo una la estabilización con emulsión asfáltica.

- e. Se realizan pruebas en el laboratorio de suelos de las muestras obtenidas del material que existe dentro del tramo, indicando el tipo y el porcentaje de emulsión asfáltica que requiere el material; así como también cuánto mejora su capacidad soporte a compresión. (Ver Anexo sección laboratorio de suelos 6)

- f. Se realizó una evaluación del tráfico promedio diario. (ver Apéndice 1)
- g. Al iniciar los trabajos de la estabilización se tomó en cuenta los dispositivos para el control y manejo de tráfico.
- h. Primero se ajustó la capa a estabilizar a un espesor de 15 centímetros, se explotó el banco de material ubicado en la estación 190+350, completándola con un 20% de reposición. Se cortó, se cargó, se acarreó a una distancia promedio de 10 kms. y se tendió el material.
- i. Se escarificó la sección típica de la carretera, se humedeció, se mezcló y se homogeneizó la capa de balasto con una motoniveladora y una regadora de agua.

Figura 20. Escarificación del tramo



Figura 21. Humedecimiento del material



Figura 22. Mezcla y homogeneización del material.



- j. Se procedió a realizar el riego de la emulsión asfáltica según el cálculo siguiente:

El peso unitario suelto del material de balasto es de:

$$90.3 \text{ lb/p}^3 = 1,449.32 \text{ kg/m}^3$$

La emulsión se compone en 60% de cemento asfáltico y 40% de agua

Peso específico de la emulsión asfáltica 1.007 kg/lt

De acuerdo al Ensayo Proctor realizado al material se obtuvo que el porcentaje óptimo de emulsión es 3.3%, es decir 2.0% de residual asfáltico dando como resultado:

$$\begin{aligned} \text{Vol. de residual asfáltico} &= 2.0\% \times 1,449.32 \text{ kg/m}^3 = \\ 28.99 \text{ kg de residual asfáltico/m}^3 &= 7.67 \text{ gls de residual asfáltico/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Vol. de emulsión} = \frac{7.67 \text{ gls. de residual asfáltico/ m}^3}{60\% \text{ de residual asfáltico}}$$

$$\text{Vol. de emulsión} = \mathbf{12.78 \text{ gal. de emulsión/m}^3}$$

En un tramo de:	Longitud	200.00 mts.	Ancho	6.00 mts.
	Espesor	0.15 mts.	Volumen	180.00 m ³

$$\begin{aligned} \text{Volumen de emulsión} &= 180.00 \text{ m}^3 \times 15.33 \text{ gls. de emulsión/ m}^3 \\ &= \mathbf{2,300.40 \text{ gls de emulsión}} \end{aligned}$$

Figura 23. Riego de emulsión asfáltica



- k. Se mezcló, se homogeneizó con la emulsión, se conformó la sección típica y se compactó.

Figura 24. Mezcla con la emulsión

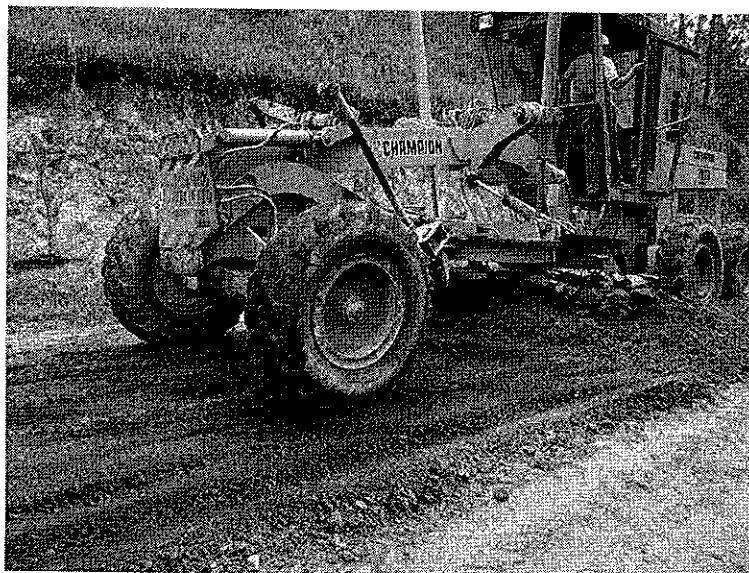


Figura 25. Homogeneización del material con la emulsión

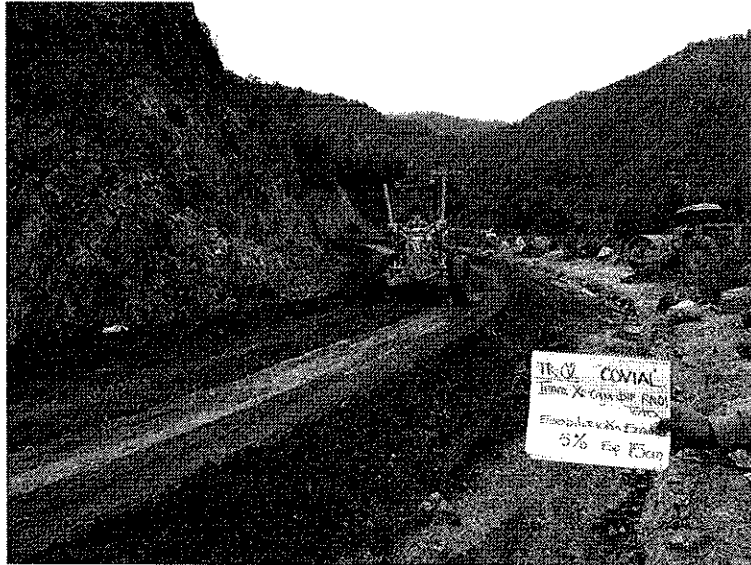
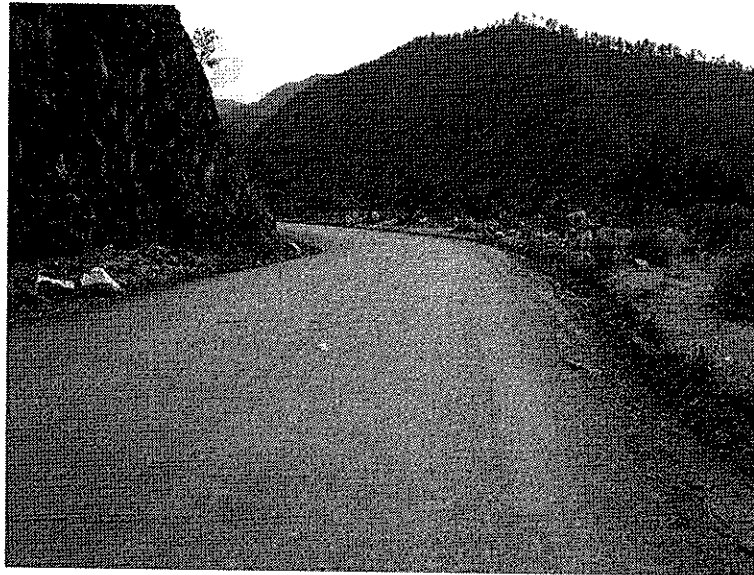


Figura 26. Compactación del material estabilizado



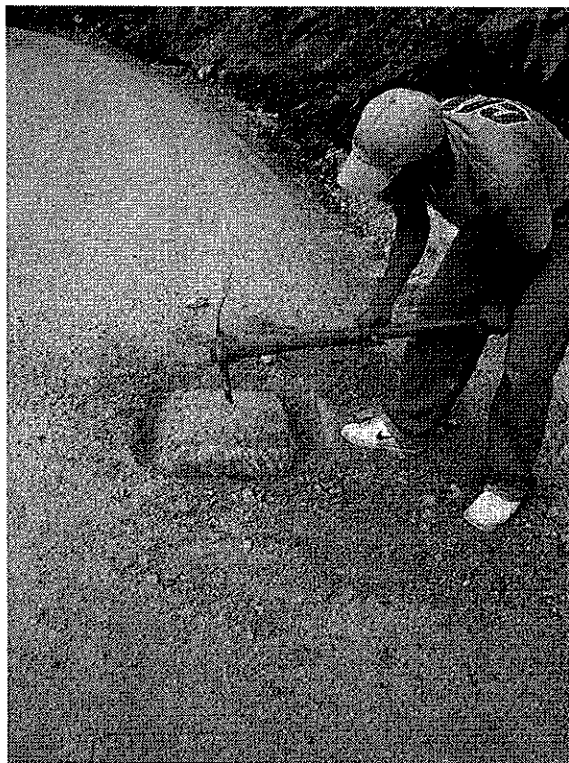
Figura 27. Trabajo final



4.5 Control de calidad

- ❖ Se realizaron dos chequeos de densidad en este tramo y cumplieron con el 96.3 y 95.4% de compactación respecto a los resultados obtenidos del laboratorio de suelos. (Ver Anexo sección laboratorio de suelos 7)
- ❖ Posteriormente se extrajo un núcleo del material estabilizado para evaluar su esfuerzo máximo a compresión simple. (Ver Anexo laboratorio de suelos 8)

Figura 28. Extracción de núcleo



5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

5.1 Costo del mantenimiento tradicional

- ✓ Primer año: Para encontrarse en condiciones aceptables de transitabilidad, el tramo carretero requiere la realización de las siguientes actividades:

40.00%	Reposición de la capa de balasto	+	
40.00 %	Acarreo de material balasto	+	
60.00 %	Conformación en 1er. semestre	+	
100.00 %	Conformación 2do. semestre	=	Mantenimiento 1er. año

Costo del mantenimiento tradicional por kilómetro (Ver Apéndice 2, 3, 4 y 5)

= Q.99,831.06

- ✓ Segundo año: El tramo reduce el requerimiento de balasto en un 10%, quedando de la siguiente manera:

30.00 %	Reposición de la capa de balasto	+	
30.00 %	Acarreo de material balasto	+	
70.00 %	Conformación en 1er. semestre	+	
100.00 %	Conformación 2do. semestre	+	
5.79 %	Inflación año 2,006 según el INE	=	Mantenimiento 2do. año

Costo del mantenimiento tradicional por kilómetro (Ver Apéndice 6)

= Q.93,484.31

- ✓ Tercer año en adelante: La carretera requiere un 20% de balasto, detallando las actividades de la siguiente forma:

20.00 %	Reposición de la capa de balasto	+	
20.00 %	Acarreo de material balasto	+	
80.00 %	Conformación en 1er. semestre	+	
100.00 %	Conformación 2do. semestre	+	
8.75 %	Inflación año 2,007 según el INE	=	Mantenimiento del 3er. año en adelante.

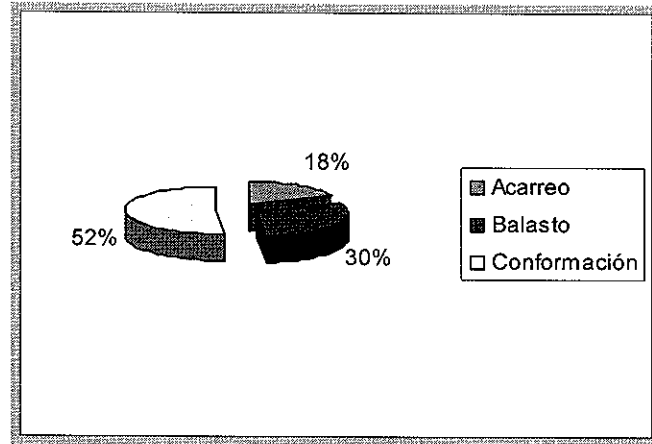
Costo del mantenimiento tradicional por kilómetro (Ver Apéndice 7)

= Q.83,633.71

Del cuarto año en adelante se debe incrementar al costo anterior el porcentaje de inflación anual sucesivamente.

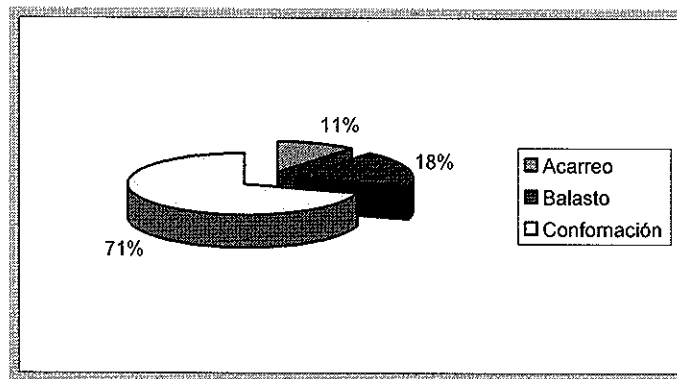
La conformación de la sección típica se debe realizar dos veces al año, debido a su constante repetición, el porcentaje de inversión en este rubro es representativo como se aprecia en la figura 29 y 30.

Figura 29. Porcentaje de incidencia de costo del mantenimiento tradicional durante el primer año.



Fuente: Integración de costo Apéndice 5.

Figura 30. Porcentaje de incidencia de costo del mantenimiento tradicional del tercer año en adelante.



Fuente: Integración de costo Apéndice 7.

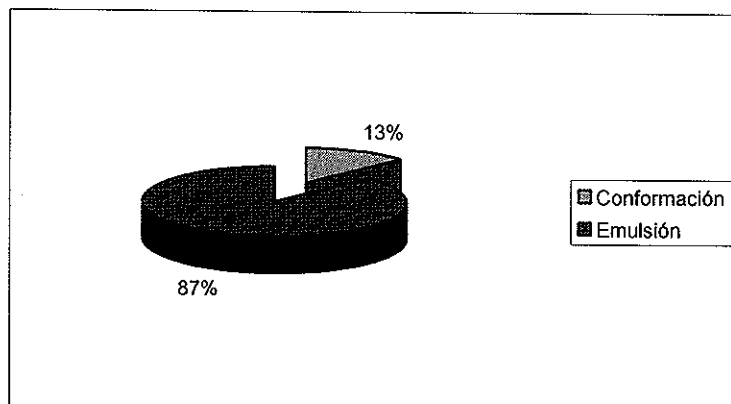
5.2 Costo de la estabilización con emulsión

Para integrar el costo unitario, se completó la capa de balasto a un espesor de 0.15 m. En este caso fue necesario colocarle el 40% de ésta, por lo que hubo que cortar, cargar, acarrear y tender el material, para posteriormente estabilizarlo con la emulsión asfáltica. Dichos rubros se integraron en los apéndices 3, 8 y 9 y luego se estableció el costo que representó la estabilización, ver apéndice 10.

Costo por kilómetro de estabilización con emulsión: **Q. 247,723.00**

La conformación de la sección típica se debe trabajar una vez cada diez años. Siendo necesario realizar mantenimientos menores, cada año y mayores cada tres años, teniendo un costo del 5 y 15% de la inversión inicial respectivamente. En la estabilización el costo de la conformación disminuye representativamente en el primer año, como se aprecia en la figura 31.

Figura 31. Porcentaje de incidencia de costos la de estabilización con emulsión



Fuente: Integración de costo Apéndice 10.

5.3 Comparación descriptiva de método tradicional versus estabilización con emulsión

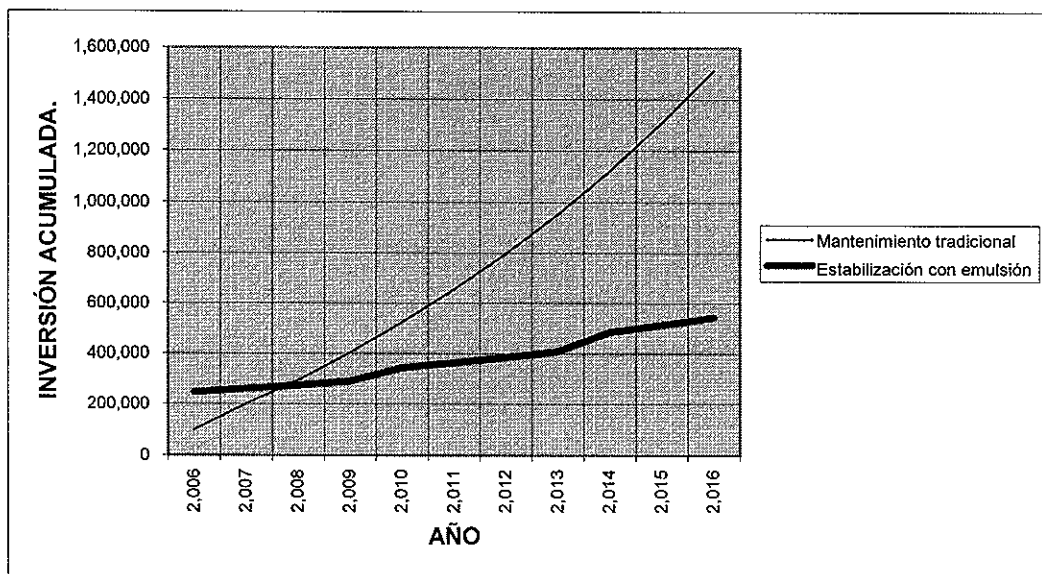
Método tradicional	Estabilización con emulsión
En época lluviosa la sección típica sufre erosión tanto en las cunetas como en la rodadura y por consiguiente pérdida de balasto y ancho, además provoca saturación en la subrasante.	En época lluviosa tanto la rodadura como las cunetas soportan más debido a la adherencia que existe con el ligante asfáltico, además de proveer una barrera impermeable.
En verano se pierde la humedad en la capa superficial, provocando pérdida de material fino, desplazando el material grueso afuera de la rodadura, reduciendo la capa de balasto hasta el punto de dejar desprotegida la subrasante.	En verano no afecta la superficie de la rodadura representativamente, ya que por la presencia del cemento asfáltico se mantiene unidas las partículas finas con las gruesas, además mantiene su humedad.
Periodicamente se debe conformar y en algunos tramos colocar nuevamente una capa de balasto, por la pérdida de finos y la erosión del suelo. Debido a este factor, los bancos de materiales del área son explotados con mayor frecuencia, lo que incide en el agotamiento de los mismos e incrementando el impacto ambiental de la región.	El mantenimiento se realiza con menos frecuencia, ya que la estabilización con emulsión permite mantener la carretera en mejores condiciones. Los bancos de materiales se explotan en menor volumen y períodos de tiempo mas prolongados, por lo que impacta a menor escala el medio ambiente.
Si la carretera presenta deficiencias en la superficie, incrementa el tiempo de traslado, genera mayor utilización de combustible y desgaste de los vehículos, incrementando los costos de transporte tanto de pasajeros como de carga.	La carretera en condiciones adecuadas favorece la rapidez en el traslado, reduce el consumo de combustible y el desgaste de los vehículos, minimizando los costos de transporte.

Método tradicional	Estabilización con emulsión
El porcentaje de confiabilidad es menor en una rodadura inestable e irregular.	Se incrementa el porcentaje de confiabilidad al proveer una superficie uniforme y resistente.
Se requiere un espesor determinado para soportar cargas y proteger la subrasante.	Se incrementa la resistencia del material y reduce el espesor necesario de la estructura que protege la subrasante.

5.4 Análisis del costo - beneficio de la estabilización

El análisis realizado se proyectó a diez años, tomando en consideración en ambos mantenimientos sus reparaciones periódicas, porcentajes de cantidades de trabajo y su índice inflacionario, como lo representa porcentualmente el Apéndice 11. Seguidamente el Apéndice No. 12 muestra el costo anual por kilómetro que debe hacerse en cada una de las soluciones, generando un gráfico con las inversiones acumuladas que se presenta a continuación:

Figura 32. Costo acumulado por kilómetro, método tradicional versus estabilización con emulsión.



Fuente: Apéndice 12

Al comparar ambos mantenimientos en un plazo de diez años, se observa que después del tercer año el beneficio de la estabilización es mayor.

Aplicando el valor presente neto en un período de diez años en ambos métodos, según Apéndice 13, el costo de la estabilización respecto al mantenimiento tradicional representa un 53%.

Adicionalmente el beneficio que incide en costos intangibles como:

Costo de operación del usuario:

- Tiempo para transportarse de un punto a otro.
- Menor consumo de combustible.
- Decrementa la depreciación de los vehículos.
- Reduce el costo de traslado de insumos y las personas.
- Disminuye la probabilidad al deslizamiento por ser más confiable.
- Incrementa la certeza de transitabilidad en época de invierno.
- Aumenta la transitabilidad y con esto el comercio y el turismo.

Costo de conservación del medio ambiente:

- Disminuye la morbilidad, como los problemas del sistema respiratorio, digestivo, la vista, los oídos, la piel, etc.
- La explotación de bancos de materiales se realiza en períodos más prolongados.
- Se reduce la erosión en la carretera.
- Minimiza la contaminación en cultivos agrícolas próximos a la carretera.

Costo de operación del Gobierno:

- Incrementa la duración de las carreteras.
- Reduce el mantenimiento constante.
- Disminuye el costo del mantenimiento.
- Eleva representativamente el aporte estructural para que sirva a la estructura de un futuro pavimento.
- Disminuye la inversión en el área de Salud.
- Propicia ambiente más productivo.
- Se constituye una ruta alterna.

CONCLUSIONES

1. La estabilización del balasto con emulsión es una alternativa favorable para aquellos caminos que poseen un suelo de origen arenoso, es decir que su índice plástico sea menor que 11. Además ayuda a conservar el material acarreado por períodos prolongados sobre la rodadura, de una manera conformada según sea su sección típica, en especial cuando los bancos de materiales se encuentran agotados o distantes.
2. Utilizar emulsión catiónica de rompimiento lento, debido a la carga positiva que posee la emulsión, mientras las partículas de balasto cuentan con carga negativa, las cuales son atraídas mutuamente, cerrando los poros e impermeabilizando la superficie, así como permite el tiempo apropiado para aplicar la emulsión, homogeneizar, tender y compactar el material emulsificado.
3. El diseño del drenaje transversal y longitudinal es un elemento primordial para que la estabilización disminuya su mantenimiento y se conserve por más tiempo.
4. Se incrementó el esfuerzo a compresión simple en un 284% al adicionar la emulsión asfáltica.

5. El costo – beneficio que se comparó de la estabilización con respecto al mantenimiento tradicional, fue en un plazo de diez años, período en el cual su costo representa un 53%, empezando el beneficio de la inversión a partir del tercer año de mantenimiento.

6. Adicionalmente se obtienen los siguientes beneficios intangibles:
 - a) En el suelo: Incrementa su capacidad soporte, minimiza la pérdida de material fino y posteriormente el material grueso, evitando el apareamiento de baches prematuros.
 - b) En el medio ambiente: Disminuye la explotación de bancos de materiales, la contaminación de sólidos en el aire y mantos acuíferos.
 - c) En la población: Mayor calidad de servicio, reduce la morbilidad, la depreciación de los vehículos, costos en transporte de carga y de pasajeros, tiempo de traslados.
 - d) En las instituciones responsables del mantenimiento de las carreteras: Decrementa el costo del mantenimiento, se constituye una vía alterna, se invierte en la estructura de un futuro pavimento.

RECOMENDACIONES

1. La aplicación de la emulsión en el balasto se debe realizar por capas entre 3 a 5 cms. dependiendo del espesor de la capa, para permitir que ésta se homogeneizada de una mejor manera.
2. Se recomienda chequear la humedad de premezclado. Si ésta no ha alcanzado su humedad óptima, la cantidad en galones adicional debe de agregarse a la emulsión.
3. Posterior a la realización de la estabilización, se sugiere realizar mantenimiento menor, como bacheo, limpieza de drenajes longitudinales y transversales, cada año.
4. A las autoridades encargadas del mantenimiento de las carreteras, se recomienda considerar los beneficios que representa la estabilización con emulsión.
5. El almacenamiento de la emulsión debe ser controlado, ya que puede sufrir coagulación o coalescencia, lo cual afectaría el resultado de la estabilización.

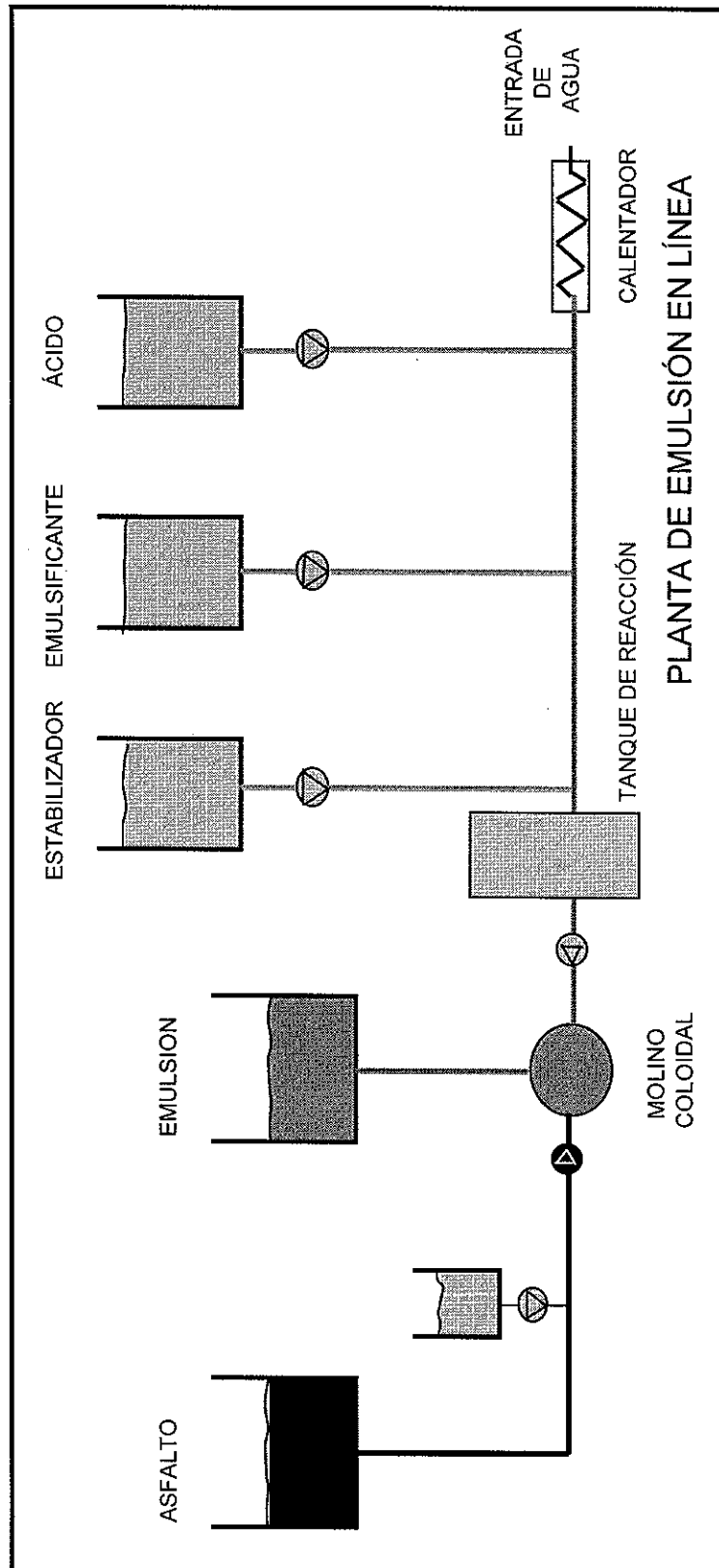
BIBLIOGRAFÍA

1. Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Edición 2001, República de Guatemala, Centro América, Sección 209.
2. Especificaciones Especiales, Unidad Ejecutora de Conservación Vial –COVIAL-, Edición 2,008. Guatemala, Centro América. Sección 207, 211 y 801.
4. Ing. Ignacio Cremades I. Los asfaltos, Sufrax, Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. Distrito Federal, 2006, México. 6 – 28pp.
5. Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA) “, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Series No. 19, USA., 1,994, 113pp.
6. Ing. Ignacio Cremades, Sufrax / Ing. César Álvarez, Ing. Raymundo Benítez Quimikao, Las emulsiones asfálticas, 2006 México. 12 – 35pp.
7. Boletín Técnico, Emulsiones Asfálticas, AKZO NOBEL, Redichote, 2006. USA. Capítulo 8.
8. Gentrac, Línea de productos CAT, 2,007. Guatemala. Sección vibrocompactadores.
9. COGUMA, Catálogo de Coguma, 2,006, Inglaterra. Sección equipo para estabilidad Marshall.

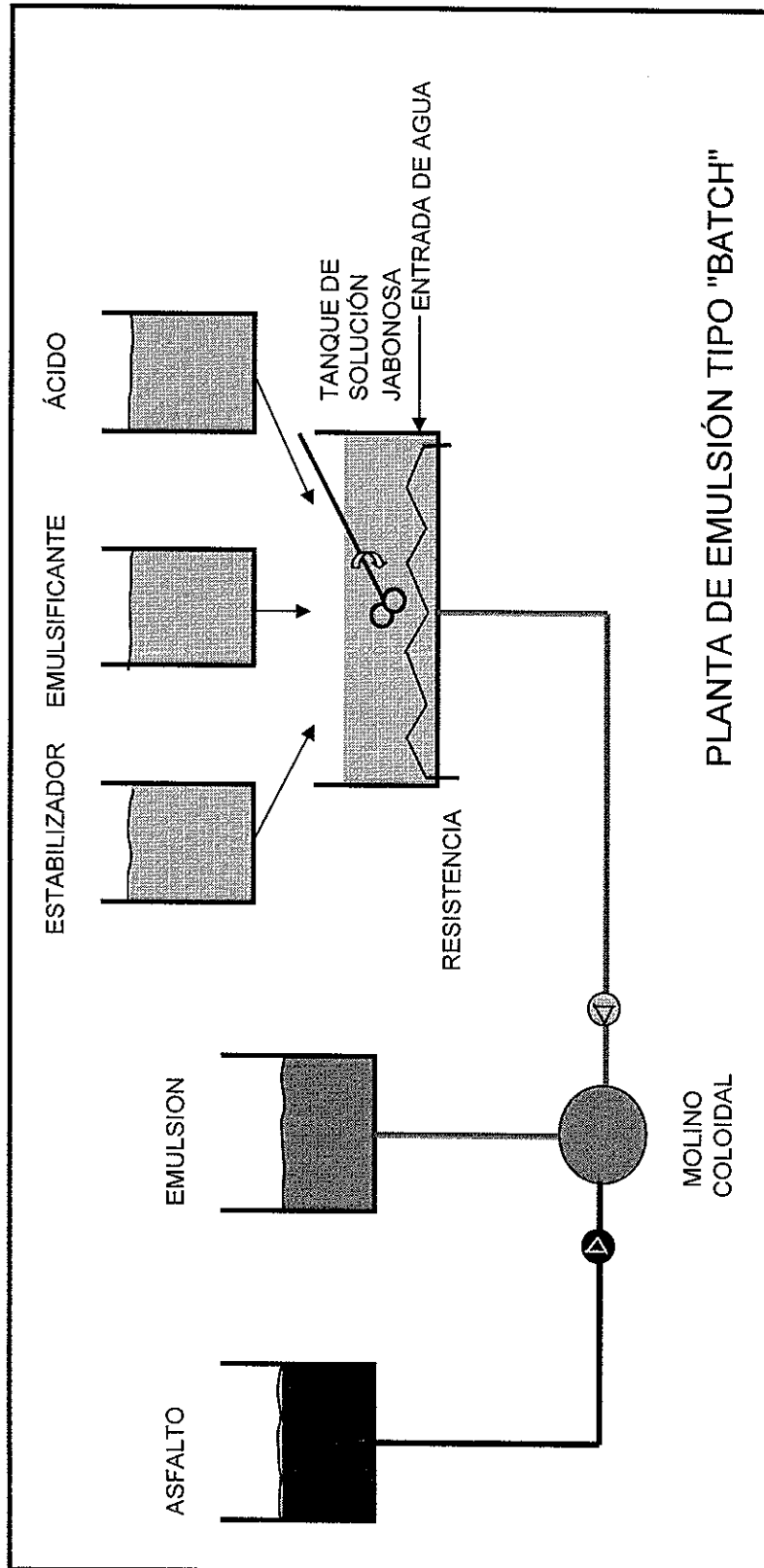
10. Instituto Geográfico Nacional, Guatemala Centro América, 1,993 Hoja 1960 IV, 1961 II y 1961 III.

APÉNDICE

DIBUJO 1



DIBUJO 2









PLANTA DE EMULSIÓN TIPO "BATCH"







APÉNDICE 1

CONTEO VEHICULAR







PROYECTO: TR-02
TRAMO: Santa María Chiquimula - Bif. Santa Lucía La Reforma
ESTACIÓN DE CONTEO #: 183+650
FECHA: 14 de junio del 2,006

Clasif.	Hora	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	12 Horas	24 Horas
1		0	2	1	1	2	0	6	7
2		28	23	18	27	16	13	125	150
3		2	3	4	3	5	2	19	23
4		0	0	2	0	0	0	2	2
5		1	0	0	0	1	0	2	2
6		1	0	1	0	1	1	4	5
Total								158	189

TRAMO: Santa Lucía La Reforma - San Antonio Itoatenango
ESTACIÓN DE CONTEO #: 187+550
FECHA: 15 de junio del 2,006

Clasif.	Hora	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	12 Horas	24 Horas
1		6	2	3	1	4	6	22	26
2		35	21	17	24	12	10	119	143
3		8	5	9	7	12	6	47	56
4		0	0	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	0
6		1	0	1	0	1	1	4	5
Total								192	230

TRAMO: San Antonio Itoatenango - Xecajá
ESTACIÓN DE CONTEO #: 201+950
FECHA: 18 de junio del 2,006

Clasif.	Hora	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	12 Horas	24 Horas
1		4	3	2	1	2	2	14	17
2		33	37	22	31	28	17	168	202
3		6	4	10	12	10	6	48	58
4		0	0	0	0	0	0	0	0
5		1	1	1	2	1	0	6	7
6		0	0	0	0	0	0	0	0
Total								236	284

** Para el volumen a las 24 horas se tomó como factor 1.2

Clasificación:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1 Automóviles, paneles y jeep | 4 Vehículos de 3 ejes |
| 2 Pick-ups | 5 Microbuses |
| 3 Camiones medianos (2 ejes) | 6 Buses |

APÉNDICE 2

INTEGRACIÓN DE COSTOS

REGLÓN 209
 REPOSICIÓN CAPA DE BALASTO
 RENDIMIENTO: 180.00 m³ / día

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Motoniveladora	8	330.00	2,640.00
1	Vibrocompactador	6	220.00	1,320.00
1	Regadora de agua	8	130.00	1,040.00
1	Excavadora	6	350.00	2,100.00
1	Pick up 4 X 4	4	40.00	160.00

TOTAL	7,260.00
--------------	-----------------

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Encargado	8	37.33	298.64
2	Ayudantes de motoniveladora	8	12.33	197.28
1	Ayudantes de regadora de agua	8	12.33	98.64
1	Ayudante de excavadora	8	12.33	98.64
3	Banderistas	8	12.33	295.92
2	Cheque de materiales	8	12.33	197.28

TOTAL	1,186.40
--------------	-----------------

HERRAMIENTA (5% MANO DE OBRA)

TOTAL	59.32
--------------	--------------

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo unitario	Sub-total
252.00	Material balasto	m ³	15.00	3,780.00
97.50	Combustible diesel	Gal	19.36	1,887.60
3.50	Combustible gasolina	Gal	20.36	71.26

TOTAL	5,738.86
--------------	-----------------

TOTAL COSTO DIRECTO		6,984.58
COSTOS INDIRECTOS	25%	1,746.15
TOTAL PARCIAL		15,990.73
IVA	12%	1,918.89
TOTAL POR DÍA		17,909.62
TOTAL POR:	m³	99.50

APÉNDICE 3

INTEGRACIÓN DE COSTOS

REGLÓN: 208.01
 ACARREO
 RENDIMIENTO: 1,800.00 m³-km / día

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
4	Camión de volteo de 12 m ³	8	160.00	5,120.00

TOTAL	5,120.00
--------------	----------

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total

TOTAL	
--------------	--

HERRAMIENTA (5% MANO DE OBRA)

TOTAL	
--------------	--

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo unitario	Sub-total
64.00	Combustible diesel	Gal	19.36	1,239.04

TOTAL	1,239.04
--------------	----------

TOTAL COSTO DIRECTO		1,239.04
COSTOS INDIRECTOS	25%	309.76
TOTAL PARCIAL		6,668.80
IVA	12%	800.26
TOTAL POR DÍA		7,469.06
TOTAL POR:	m ³ -km	4.15

APÉNDICE 4

INTEGRACIÓN DE COSTOS

RENLÓN 206
 CONFORMACIÓN DE LA SECCIÓN TÍPICA
 RENDIMIENTO: 1,680.00 m² / día

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Motoniveladora	8	330.00	2,640.00
1	Vibrocompactador	4	220.00	880.00
1	Regadora de agua	5	130.00	650.00
1	Pick up 4 X 4	3	40.00	120.00

TOTAL	4,290.00
--------------	----------

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Encargado	8	37.33	298.64
2	Ayudantes de motoniveladora	8	12.33	197.28
1	Ayudante de regadora de agua	8	12.33	98.64
2	Banderistas	8	12.33	197.28

TOTAL	791.84
--------------	--------

HERRAMIENTA (5% MANO DE OBRA)

TOTAL	39.59
--------------	-------

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo unitario	Sub-total
54.80	Combustible diesel	Gal	19.36	1,060.93
3.50	Combustible gasolina	Gal	20.36	71.26

TOTAL	1,132.19
--------------	----------

TOTAL COSTO DIRECTO		1,963.62
COSTOS INDIRECTOS	25%	490.90
TOTAL PARCIAL		6,744.52
IVA	12%	809.34
TOTAL POR DÍA		7,553.86
TOTAL POR:	m ²	4.50

APÉNDICE 5

COSTO DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL PRIMER AÑO

Renglón	Actividad	Unidad	Distancia	Volumen	Coefficiente de contracción	% Desperdicio	Cantidad	Precio Unitario	Valor
208	Acarreo	m3-km	10.00	360.00	32.8%	5.0%	5,020	4.15	20,833.00
Renglón	Actividad	Unidad	Longitud	Ancho	Espesor	% de trabajo	Cantidad	Precio Unitario	Valor
209	Reposición de Capa de balasto	m3	1,000	6.00	0.15	40%	360	99.50	35,820.00
206	Conformación de la sección típica I Semestre	m2	1,000	6.00		60%	3,600	4.50	16,200.00
206	Conformación de la sección típica II Semestre	m2	1,000	6.00		100%	6,000	4.50	26,978.06

Costo por kilómetro 99,831.06

APÉNDICE 6

COSTO DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL SEGUNDO AÑO

Renglón	Actividad	Unidad	Distancia	Volumen	Coefficiente de hinchamiento	% Desperdicio	Cantidad	Precio Unitario	Valor
208	Acarreo	m3-km	10.00	270.00	32.8%	5.0%	3,765	4.15	15,624.75
Renglón	Actividad	Unidad	Longitud	Ancho	Espesor	% de trabajo	Cantidad	Precio Unitario	Valor
209	Reposición de Capa de balasto	m3	1,000	6.00	0.15	30%	270	99.50	26,865.00
206	Conformación de la sección típica I Semestre	m2	1,000	6.00		70%	4,200	4.50	18,900.00
206	Conformación de la sección típica II Semestre	m2	1,000	6.00		100%	6,000	4.50	26,978.06

Sub-total 88,367.81
 5.79 % de inflación 5,116.50
Costo por kilómetro 93,484.31

APÉNDICE 7

COSTO DE MANTENIMIENTO TRADICIONAL DEL TERCER AÑO EN ADELANTE

Rengión	Actividad	Unidad	Distancia	Volumen	Coefficiente de hinchamiento	% Desperdicio	Cantidad	Precio Unitario	Valor
208	Acarreo	m3-km	10.00	180.00	32.8%	5.0%	2,510	4.15	10,416.50
Rengión	Actividad	Unidad	Longitud	Ancho	Espesor	% de trabajo	Cantidad	Precio Unitario	Valor
209	Reposición de Capa de balasto	m3	1,000	6.00	0.15	20%	180	99.50	17,910.00
206	Conformación de la sección típica I Semestre	m2	1,000	6.00		80%	4,800	4.50	21,600.00
206	Conformación de la sección típica II Semestre	m2	1,000	6.00		100%	6,000	4.50	26,978.06

Año	Sumatoria	76,904.56
2,006	% de inflación	4,452.77
	Sub-total	81,357.33
2,007	% de inflación	7,118.77
	Costo por kilómetro	88,476.10

APÉNDICE 8

INTEGRACIÓN DE COSTOS

RENGLÓN S/N
 CORTE, CARGA Y TENDIDO DE BALASTO
 RENDIMIENTO: 96 m³ / día

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Motoniveladora	2	300.00	600.00
1	Excavadora	3	350.00	1,050.00
1	Pick up 4 X 4	1	40.00	40.00

TOTAL	1,690.00
--------------	-----------------

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Encargado	4	37.33	149.32
1	Cheque de materiales	4	12.33	49.32

TOTAL	198.64
--------------	---------------

HERRAMIENTA (5% MANO DE OBRA)

TOTAL	9.93
--------------	-------------

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo unitario	Sub-total
134.40	Material balasto	m ³	3.33	447.55
24.50	Combustible diesel	Gal	19.36	474.32
1.00	Combustible gasolina	Gal	20.36	20.36

TOTAL	942.23
--------------	---------------

TOTAL COSTO DIRECTO		1,150.80
COSTOS INDIRECTOS	25%	287.70
TOTAL PARCIAL		3,128.50
IVA	12%	375.42
TOTAL POR DÍA		3,503.92
TOTAL POR:	m³	36.50

APÉNDICE 9

INTEGRACIÓN DE COSTOS

RENLÓN: 211
 ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN
 RENDIMIENTO: 337.50 m³ / día

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Motoniveladora	8	330.00	2,640.00
1	Vibrocompactador	4	220.00	880.00
1	Regadora de agua	4	130.00	520.00
1	Regadora de emulsión	5	130.00	650.00
1	Cabezal + pipa	6	160.00	960.00
1	Pick up 4 X 4	4	40.00	160.00

TOTAL	5,810.00
--------------	----------

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Horas	Costo hora	Sub-total
1	Encargado	8	37.33	298.64
2	Ayudantes de motoniveladora	8	12.33	197.28
1	Ayudante de regadora de agua	8	12.33	98.64
1	Ayudante de regadora de emulsión	8	12.33	98.64
2	Banderista	8	12.33	197.28

TOTAL	890.48
--------------	--------

HERRAMIENTA (5% MANO DE OBRA)

TOTAL	44.52
--------------	-------

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Unidad	Costo unitario	Sub-total
116.19	Combustible diesel	Gal	19.36	2,249.44
6.00	Combustible gasolina	Gal	20.36	122.16
4,313.25	Emulsión	Gal	11.43	49,300.45

TOTAL	51,672.05
--------------	-----------

TOTAL COSTO DIRECTO		52,607.05
COSTOS INDIRECTOS	25%	13,151.76
TOTAL PARCIAL		71,568.81
IVA	12%	8,588.26
TOTAL POR DÍA		80,157.07
TOTAL POR:	m ³	237.50

APÉNDICE 10

COSTO DE ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN

Región	Actividad	Unidad	Distancia	Volumen	Coefficiente de hinchamiento	% Desperdicio	Cantidad	Precio Unitario	Valor
208	Acarreo	m3-km	10.00	360.00	32.8%	5.0%	5,020	4.15	20,833.00
Región	Actividad	Unidad	Longitud	Ancho	Espesor	% de material perdido	Cantidad	Precio Unitario	Valor
S/N	Corte, carga y tendido de balasto	m3	1,000	6.00	0.15	40%	360	36.50	13,140.00
211	Estabilización de balasto con emulsión	m3	1,000	6.00	0.15		900	237.50	213,750.00

Costo por kilómetro 247,723.00

APÉNDICE 11

PORCENTAJES DE CANTIDADES DE TRABAJO DEL
MANTENIMIENTO TRADICIONAL VRS. ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN

Año	Tasa de Inflación		Mantenimiento tradicional				Estabilización con emulsión			
	%		Balasto	Acarreo	Conformación 1er semestre	Conformación 2do semestre	Balasto	Acarreo	Estabilización	Bacheo
	%		%	%	%	%	%	%	%	%
2,006	5.79		40.00	40.00	60.00	100.00	40.00	40.00	100.00	
2,007	8.75		30.00	30.00	70.00	100.00				5.00
2,008	14.16		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,009	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,010	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				15.00
2,011	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,012	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,013	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,014	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				15.00
2,015	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00
2,016	9.30*		20.00	20.00	80.00	100.00				5.00

Fuente: Las tasas de inflación fueron obtenidas de los índices de precios al consumidor dadas por el Instituto Nacional de Estadística

* tasa de inflación promedio en los últimos 5 años.

APÉNDICE 12

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ACUMULADOS POR KÍLOMETRO

Año	Mantenimiento tradicional		Estabilización con emulsión	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
2,006	99,831.06	99,831.06	247,723.00	247,723.00
2,007	93,484.31	193,315.37	13,103.31	260,826.31
2,008	88,476.10	281,791.47	14,249.85	275,076.16
2,009	101,004.32	382,795.79	16,267.63	291,343.78
2,010	110,397.72	493,193.51	53,341.55	344,685.33
2,011	120,664.71	613,858.21	19,434.10	364,119.43
2,012	131,886.52	745,744.73	21,241.47	385,360.90
2,013	144,151.97	889,896.70	23,216.93	408,577.84
2,014	157,558.10	1,047,454.81	76,128.32	484,706.16
2,015	172,211.01	1,219,665.82	27,736.08	512,442.24
2,016	188,226.63	1,407,892.45	30,315.54	542,757.78

APÉNDICE 13

ANÁLISIS DEL VALOR ACTUAL NETO

AÑO	Tasa	Mantenimiento tradicional		Estabilización con emisión	
		Anual	Valor actual neto	Anual	Valor actual neto
2,006		99,831.06	99,831.06	247,723.00	247,723.00
2,007	14.00%	93,484.31	82,003.78	13,103.31	11,494.13
2,008	14.00%	88,476.10	68,079.49	14,249.85	10,964.79
2,009	14.00%	101,004.32	68,175.04	16,267.63	10,980.18
2,010	14.00%	110,397.72	65,364.31	53,341.55	31,582.48
2,011	14.00%	120,664.71	62,669.47	19,434.10	10,093.46
2,012	14.00%	131,886.52	60,085.73	21,241.47	9,677.33
2,013	14.00%	144,151.97	57,608.51	23,216.93	9,278.35
2,014	14.00%	157,558.10	55,233.42	76,128.32	26,687.47
2,015	14.00%	172,211.01	52,956.25	27,736.08	8,529.07
2,016	14.00%	188,226.63	50,772.97	30,315.54	8,177.43
			722,780.02		385,187.70

ANEXO



Guatemala, 8 de agosto del 2,006

Señores:
GSED-ALFA
Presente.

Attn: Marvin Juárez

Estamos informando del resultado obtenido de los ensayos efectuados al material de BALASTO del tramo Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá, Estación 183+650; del proyecto **TR-002**, Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá; Sta. María Chiquimula – Bif. RD-QUI-09, (Sta. Lucía La Reforma); Xecajá – Bif. RN-01-A (Totonicapán); Bif. RD-TOT-01 – Totonicapán.

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN COVIAL 2005
Próctor, libras/pie ³ . T 180	90.3	---
% Humedad óptima	19.6	---
% CBR a 95% de compactación. T 193	46	No menor de 30
% Hinchamiento	0.46	---
% Retenido en tamiz No. 4. T 27	32.7	60 – 40
% Pasa en tamiz No. 200. T 27, T 11	27.0	No mayor de 15
% Límite líquido. T 89	39.8	No mayor de 35
Índice plástico. T 90	4.5	5-11
Peso unitario. T 19	60.7	No menor de 90
% Abrasión. T 96	43.4	No mayor de 60
% Coeficiente de contracción	32.8	---
Índice de grupo	0	---
Clasificación	A-2-4	---
Material	Limo areno-arcilloso con grava, color beige	---

Atentamente,


Ing. César Castañeda

EMULSA





EMULSA
Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



Guatemala, 8 de agosto del 2,006

Señores:
GSED-ALFA
Presente.

Attn: Marvin Juárez

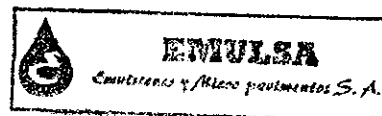
Estamos informando del resultado obtenido de los ensayos efectuados al material de BALASTO del banco ubicado en el tramo Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá, Estación 190+350; del proyecto **TR-002**, Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá; Sta. María Chiquimula – Bif. RD-QUI-09, (Sta. Lucía La Reforma); Xecajá – Bif. RN-01-A (Totonicapán); Bif. RD-TOT-01 – Totonicapán.

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN COVIAL 2005
Próctor, libras/pie ³ . T 180	96.3	---
% Humedad óptima	18.0	---
% CBR a 95% de compactación. T 193	58.1	No menor de 30
% Hinchamiento	0.0	---
% Retenido en tamiz No. 4. T 27	20.4	60 – 40
% Pasa en tamiz No. 200. T 27, T 11	30.2	No mayor de 15
% Límite líquido. T 89	0	No mayor de 35
Índice plástico. T 90	0	5-11
Peso unitario. T 19	74.6	No menor de 90
% Abrasión. T 96	No se efectuó por falta de material grueso	No mayor de 60
% Coeficiente de contracción	26.7	---
Índice de grupo	0	---
Clasificación	A-1-b	---
Material	Arena limosa con poca gravilla, color beige	---

Atentamente,

Ing. César Castañeda

EMULSA





EMULSA
Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



Guatemala, 8 de agosto del 2,006

Señores:
GSED-ALFA
 Presente.

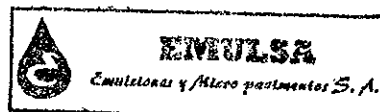
Attn: Marvin Juárez

Estamos informando del resultado obtenido de los ensayos efectuados al material de BALASTO del tramo Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá, Estación 201+850; del proyecto **TR-002**, Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá; Sta. María Chiquimula – Bif. RD-QUI-09, (Sta. Lucía La Reforma); Xecajá – Bif. RN-01-A (Tonicapán); Bif. RD-TOT-01 – Tonicapán.

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN COVIAL 2005
Próctor, libras/pie ³ . T 180	99.6	---
% Humedad óptima	16.7	---
% CBR a 95% de compactación. T 193	60.0	No menor de 30
% Hinchamiento	0.07	---
% Retenido en tamiz No. 4. T 27	22.7	60 – 40
% Pasa en tamiz No. 200. T 27, T 11	27.8	No mayor de 15
% Límite líquido. T 89	0	No mayor de 35
Índice plástico. T 90	0	5-11
Peso unitario. T 19	76.4	No menor de 90
% Abrasión. T 96	No se efectuó por falta de material grueso	No mayor de 60
% Coeficiente de contracción	23.3	---
Índice de grupo	0	---
Clasificación	A-1-b	---
Material	Arena limosa con poca gravilla, color gris	---

Atentamente,


 Ing. César Castañeda
EMULSA





EMULSA
Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



Guatemala, 8 de agosto del 2,006

Señores:
GSED-ALFA
Presente.

Attn: Marvin Juárez

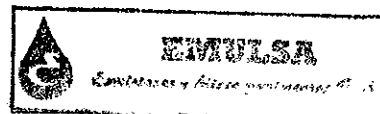
Estamos informando del resultado obtenido de los ensayos efectuados al material de BALASTO del banco ubicado en el tramo Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá, Estación 202+100; del proyecto **TR-002**, Bif. San Antonio Ilotenango – Xecajá; Sta. María Chiquimula – Bif. RD-QUI-09, (Sta. Lucía La Reforma); Xecajá – Bif. RN-01-A (Tonicapán); Bif. RD-TOT-01 – Tonicapán.

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN COVIAL 2005
Próctor, libras/pie ³ . T 180	88.4	---
% Humedad óptima	21.6	---
% CBR a 95% de compactación. T 193	44.0	No menor de 30
% Hinchamiento	0.45	---
% Retenido en tamiz No. 4. T 27	36.1	60 – 40
% Pasa en tamiz No. 200. T 27, T 11	32.7	No mayor de 15
% Límite líquido. T 89	41.3	No mayor de 35
Índice plástico. T 90	6.5	5-11
Peso unitario. T 19	56.2	No menor de 90
% Abrasión. T 96	42.8	No mayor de 60
% Coeficiente de contracción	34.5	---
Índice de grupo	0	---
Clasificación	A-2-4	---
Material	Arena limosa con gravilla, color gris	---

Atentamente,


Ing. César Castañeda

EMULSA





EMULSA
Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



Guatemala, 18 de agosto del 2,006

Señores:
GSED-ALFA
Presente.

Attn: Marvin Juárez

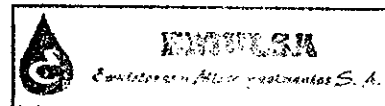
Estamos informando del resultado obtenido de los ensayos efectuados al material de BALASTO del banco ubicado en la carretera que conduce hacia San Bartolomé Jocotenango, para el proyecto TR-002, Bif. San Antonio Ilostenango – Xecajá; Sta. María Chiquimula – Bif. RD-QUI-09, (Sta. Lucía La Reforma); Xecajá – Bif. RN-01-A (Tonicapán); Bif. RD-TOT-01 – Tonicapán.

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN COVIAL 2005
Próctor, libras/pie ³ . T 180	121.9	---
% Humedad óptima	15.0	---
% CBR a 95% de compactación. T 193	31.3	No menor de 30
% Hinchamiento	1.60	---
% Retenido en tamiz No. 4. T 27	36.7	60 – 40
% Pasa en tamiz No. 200. T 27, T 11	18.1	No mayor de 15
% Límite líquido. T 89	36.4	No mayor de 35
Índice plástico. T 90	9.2	5-11
Peso unitario. T 19	91.3	No menor de 90
% Abrasión. T 96	24.8	No mayor de 60
% Coeficiente de contracción	23.3	---
Índice de grupo	0	---
Clasificación	A-2-4	---
Material	Grava, arena y limo, color beige	---

Atentamente,

Ing. César Castañeda

EMULSA





Guatemala, 31 agosto del 2,006

Señores
GSED-ALFA
 Presente.

Attn. Marvin Juárez

Estamos informando del resultado obtenido, del **ensayo de ruptura a la compresión simple**, efectuado a las pastillas de material (2 de bancos y 2 de la carretera), sin y con emulsión para el proyecto TR-02-COVIAl-2006.

		Capa de rodadura existente Est. 183+650	Banco de material Est. 190+350	Capa de rodadura existente Est. 201+850	Banco de material Est. 202+100
		Esfuerzo, lb/plg2	Esfuerzo, lb/plg2	Esfuerzo, lb/plg2	Esfuerzo, lb/plg2
Sin emulsión		115	119	111	123
Con emulsión	2.5%	251	246	244	405
	3.3%	327	288	266	412
	4.0%	254	332	245	418
	4.8%	241	288	246	404
Material		Limo arenoso-arcilloso con grava, color beige	Arena limosa con poca gravilla, color beige	Arena limosa con poca gravilla, color gris	Arena limosa con gravilla, color gris

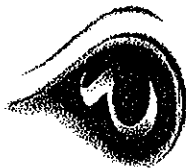
OBSERVACIONES:

1. La mezcla con emulsión se trabajo con el 2% menos de la humedad óptima.
2. Las pastillas están al 95% de compactación (AASHTO T 180).
3. Las pastillas sin emulsión se ensayaron el mismo día que se hicieron.
4. Las pastillas con emulsión se ensayaron 7 días después de curado al ambiente (bajo techo).

Atentamente,


 Ing. César Castañeda
EMULSA





EMULSA

Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



AKZO NOBEL

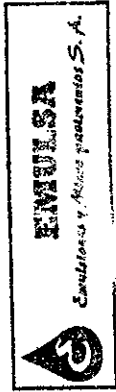
DISEÑO DE ESTABILIZACIÓN DE BALASTO CON EMULSIÓN ASFALTICA

Fecha 12 de septiembre del 2,006
 Tipo Material de balasto
 Proyecto TR-02-COVIAL-2006

% Emulsión Asfáltica	% Bitumen	Densidad de la pastilla	Estabilidad Marshall Promedio	Plasticidad Flow 1/100 ⁿ	% Vacios Mezcla Compactada	% de Vacios Rellenos con Asfalto	Relación Estabilidad / Flow
2.50	1.50	2.18	4,286.40	10.00	5.20	67.60	428.64
3.30	1.98	2.20	4,320.80	11.00	4.80	67.40	392.80
4.00	2.40	2.19	4,304.00	11.50	4.40	70.60	374.26
4.80	2.88	2.15	4,236.00	12.00	3.90	74.14	353.00

[Signature]
 Laboratorio

[Signature]
 Revisó



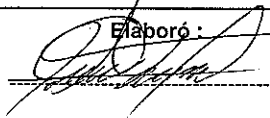
LABORATORIO DE SUELOS 8

	CONSTRUCTORA GSED-ALFA	INFORME No. 001
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	PROYECTO TR-002-COVIAL-2006
Título:	Prueba de compactación por el método del cono y arena	26/09/2006

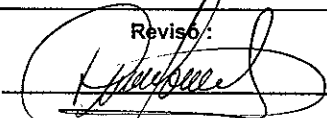
ESTABILIZACIÓN BALASTO XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	SUB-BASE	BASE	RELLENO	TERRACERÍA	ACCESO	HOMBROS
Fecha de Prueba	26-Sep-06	26-Sep-06				
Estación	183+660	183+720				
No. de Capa y Lado	LD	LC				
Espesor de Capa Cm.	15.0	15.0				
Peso Picnometro con el frasco lleno de arena + embudo	11.47	11.12				
Peso Picnometro despues de vaciar la arena.	10.70	10.40				
Peso de la Arena que llena el embudo	0.77	0.72				
Peso del Picnometro despues de llenar el sondeo y embudo	8.04	7.37				
Peso de la arena total del sondeo + embudo	2.66	3.03				
Peso de Embudo	0.77	0.72				
Peso de arena del sondeo	1.89	2.31				
Densidad de la arena	80.00	80.00				
Volumen del sondeo	0.02363	0.02560				
Peso Bruto humedo del material del sondeo	2.64	2.81				
Peso Tara	0.20	0.20				
Peso Neto humedo del material del sondeo	2.44	2.61				
Peso unitario humedo del material del sondeo	103.28	101.95				
CALCULO % DE HUMEDAD						
Peso Bruto Humedo						
Peso Bruto Seco	Se utilizó el Speedy					
Diferencia	para determinar el					
Peso Agua	por ciento de humedad					
Peso Tara	de los materiales.					
Peso Neto Seco						
% Humedad	18.8	18.4				
Peso Unitario seco de campo	86.94	86.11				
Peso unitario seco maximo del Laboratorio	90.30	90.30				
% de Humedad Optima	19.6	19.6				
% de Compactación	96.3	95.4				
% de Compactación Especifica	95% MIN.	95% MIN.				

Referencias:
AASHTO
T-191 y T-180

OBSERVACIONES Se realizo chequeo de densidades en capa de balasto estabilizado con emulsión.

Elaboro :


Laboratorista

Reviso :


Control de Calidad.

Vo.Bo.

Nombre y Firma
Supervisión



EMULSA
Emulsiones y Micropavimentos, S. A.



Guatemala, 4 octubre del 2,006

Señores
GSED-ALFA
Presente.

Attn. Marvin Juárez

Estamos informando del resultado obtenido, del **ensayo de ruptura a la compresión simple**, efectuado al NUCLEO de suelo estabilizado con emulsión. Muestra del proyecto TR-02-COVIAL-2006.

No.	Fecha de hechura	Fecha de extracción	Edad en días	Diámetro, pulgadas	Area, pulgadas ²	Carga, Libras	Esfuerzo, PSI
1	26/09/2006	04/10/2006	8	3.98	12.44	3,661.09	294.3

OBSERVACIONES:

1. Muestra proporcionada por el interesado.
2. Núcleo extraído en este laboratorio.

Atentamente,


Ing. César Castañeda
EMULSA

