

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.**



**TRABAJO DE GRADO:**

**“DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION  
ASFALTICA MODIFICADA”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**FLORES DERAS, MIGUEL ARTURO**

**LOPEZ Y LOPEZ, JOSE DANY**

**ZEPEDA LEMUS, JOSE MANUEL**

**DOCENTE ASESOR:**

**ING. JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ**

**OCTUBRE DE 2014**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

**INGENIERO MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**VICE-RRECTORA ACADEMICA**

**MAESTRA ANA MARIA GLOWER DE ALVARADO**

**SECRETARIA GENERAL**

**DOCTORA ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FISCAL GENERAL**

**LICENCIADO FRANCISCO CRUZ LETONA**

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

**DECANO**

**LICENCIADO RAUL ERNESTO AZCUNAGA LOPEZ**

**VICE-DECANO**

**INGENIERO WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRON**

**SECRETARIO**

**LICENCIADO VICTOR HUGO MERINO QUEZADA**

**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**INGENIERA Y MASTER. SORAYA LISSETTE BARRERA**

**DOCENTE DIRECTOR**

**INGENIERO JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ**

**SANTA ANA, OCTUBRE DE 2014**

**TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:**

**INGENIERO JORGE WILLIAM ORTIZ SANCHEZ**

**DOCENTE DIRECTOR**

**SANTA ANA, OCTUBRE DE 2014**

**TRABAJO DE GRADUACION ASESORADO POR:**

**INGENIERA CHRISTA MARIA MATA DE LARA**

**DOCENTE ASESOR EXTERNO**

**INGENIERO RAMON FRITZ ALVARADO GLOWER**

**DOCENTE ASESOR EXTERNO**

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

Queremos agradecer principalmente a Dios por ser el máximo guía de nuestro trabajo de grado y a todas las personas que fueron parte para que esta investigación fuera posible.

**A la Universidad de El Salvador**, por ser nuestra fuente del conocimiento y forjarnos como profesionales.

**Al personal del laboratorio de suelos y materiales de la Universidad de El Salvador**, por abrirnos sus puertas para el uso de sus instalaciones para las pruebas de agregados además de brindarnos asesoría y orientación.

**Al personal del laboratorio de ASFALCA**, por el apoyo y la amabilidad con la que siempre nos recibieron además de brindarnos ayuda técnica necesaria.

**A Ing. Fritz Alvarado Glower e Inga. Christa de Lara**, por recibarnos desde el primer día que buscamos asesoría en la empresa ASFALCA además de brindarnos mucha ayuda técnica y profesional y orientarnos durante el desarrollo de la nuestra investigación.

**A Ing. Jorge William Ortiz**, por apoyar al grupo como docente director, compartir su tiempo y brindarnos consejos y recomendaciones que fueron elementales para concluir con éxito nuestro trabajo de grado.

## **DEDICATORIA**

**A DIOS TODO PODEROSO:** Porque si no fuese por el este triunfo no hubiese sido posible, por haberme dado la fuerza para poder concluir con éxito esta nueva etapa de mi vida, por brindarme su ayuda en los momentos más difíciles, además de protegerme de todo mal durante todo el tiempo que viaje a mi lugar de estudios, muchas gracias mi Señor por todo.

**A MI ABUELO MIGUEL:** Gracias abuelito por sus consejos por su enorme apoyo incondicional, sin duda el mejor abuelo del mundo le doy gracias a Dios por darme un abuelo como usted.

**A MI MADRE:** Gracias madrecita por darme todo el apoyo, por luchar por que saliera adelante por sus consejos muchas gracias mamá, este triunfo también es de usted la amo mucho.

**A MI PADRE:** Gracias padre por tu apoyo tus consejos y que gracias a ti soy un hombre de bien muchas gracias.

**A MI TIO MIGUEL:** Por todo su apoyo gracias tío por la gran ayuda sin usted hubiese sido más difícil culminar mi carrera, fue de las personas más importantes y también le dedico a usted este triunfo gracias por confiar en mí.

**A MIS HERMANOS:** Ernesto y Gladis, por siempre estar con migo apoyándome, por creer en mí, los quiero mucho y son muy importantes para mí.

**A MI ESPOSA:** Claudia Meléndez Gracias mi amor por todo tu a amor y apoyo, por tu comprensión y paciencia, gracias por darme el regalo más grande que he tenido nuestra hija Alejandra Michelle Flores Meléndez te amo mi Ale, ustedes me motivan el salir adelante este triunfo es suyo.

**A MI ABUELITA JUANA:** Gracias abuelita por ser tan cariñosa y por sus grandes consejos la quiero mucho.

**A MI FAMILIA:** Bisabuelas Tala y Carmen, Abuelita Marta, Abuelo Eduardo, Tía Sonia, Primas y primos, y mis demás tíos gracias por sus consejos y apoyo.

**A MIS AMIGOS:** Müller, Miriam, Gerson, Miguel Granillo, Elisa, Claudia, July, Xavier, Hugo y todos mis demás amigos de la universidad que fueron parte importante en el transcurso de mi carrera.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** Danny y Zepeda, por darme la oportunidad de ser parte de su grupo de tesis y por el esfuerzo que han hecho para que saliéramos adelante.

**Miguel Arturo Flores Deras.**



## **DEDICATORIA**

Este trabajo de graduación lo dedico principalmente a Dios y la Virgen María, que me dieron la fuerza para luchar a lo largo de todos estos años de estudio, la perseverancia y la sabiduría para concluir con éxito este gran paso. Gracias Diosito y Virgencita, por todas las bendiciones que siempre me dan.

**A Mi Mama.** Por ser mi principal apoyo, mi fuerza, la bendición más grande en mi vida, la que ha luchado por mí la que siempre confió y creyó en mí.

**A Mi Abuela:** por ser mi segunda madre Por darme todo ese cariño, comprensión y apoyo a lo largo de mi angustiante vida universitaria.

**A mis Tíos Noé y Evide.** Por estar en las buenas y las malas y por apoyarme tan incondicionalmente.

**A mi Novia Jeaqueline.** Por apoyarme y desear siempre lo mejor para mí. Gracias, sos súper especial Te Amo princesa.

**A mi demás Familia:** A los que siempre están pendientes de mí y me apoyaron en este camino

**A mi Gran amigo Don Ricardo Calderón.** Por compartir mis tristezas y alegrías. Por apoyarme, aceptarme tal cual soy y estar siempre pendiente de mí y por sus grandes consejos.

**Al Ing. Milton Sandoval:** Por sus consejos y apoyo, Gracias.

**A mis compañeros de tesis, Zepeda y Miguel.** Por su confianza y ayuda para culminar con éxito nuestro proyecto de tesis. Fue un gusto compartir este reto.

**A mi docente director y asesores,** por el apoyo brindado durante el trabajo de grado y por todo ese tiempo que invirtieron en nosotros. Gracias, que Dios les bendiga.

**José Dany López Y López**

## **DEDICATORIA.**

**A Dios.** Por haberme dado la sabiduría e inteligencia a lo largo de todo este tiempo, porque me ha protegido y nunca me ha desamparado en los momentos más difíciles ahí ha estado, gracias mi Dios eternamente agradecido y todo te lo debo a ti, es por ello que este logro lo dedico principalmente a ti.

**A mi madre.** Bessy Marisol Lemus Laguán la mujer más maravillosa que conozco la que siempre me ha dado fuerzas para seguir adelante y me da aliento para lograr mis objetivos, gracias por apoyarme en todo y por estar siempre conmigo dándome consejos y guiándome por el bien.

**A mi padre.** Adolfo Zepeda, gracias por el esfuerzo que día con día ha realizado y por orientarme en la vida, por ser mi mejor amigo y darme apoyo en los momentos que más lo he necesitado, este es un logro que también es fruto de su esfuerzo, sin su ayuda nada de esto sería posible, gracias padre siempre estaré agradecido.

**A mi hermana.** Wendy Xiomara por haber siempre creído en mí, por estar pendiente de mí en cada llamada y por apoyarme cuando más lo he necesitado.

**A mi hermano.** Gustavo Alexander por tenerme paciencia, aguantarme en los momentos de mayor estrés y por apoyarme.

**A mi familia.** Gracias tío Oscar Lemus por apoyarme y darme donde vivir en los últimos años de estudio y gracias a su compañera de vida niña Flor Umaña porque siempre estuvo pendiente de mi alimentación y cuidado, gracias abuelos José Leonel y Zoila Antonia por apoyarme y darme aliento son una fuente de inspiración, a mis primos y demás familiares que de una forma u otra me apoyaron les agradezco.

**A mis compañeros de trabajo de grado.** Danny López y Miguel Arturo gracias por confiar en mí y que a pesar de todas las adversidades nos apoyamos mutuamente para poder culminar nuestro último paso.

**Al personal de ASFALCA.** Gracias por apoyarnos y brindarnos asesoría técnica, a nuestros asesores y también al personal técnico que nos apoyó en las pruebas de laboratorio.

A todos los involucrados en mi etapa como estudiante a mis amigos que conozco desde la infancia y a todos los que me apoyaron en mi etapa como estudiante son muchos para enumerarlos pero mis sinceros agradecimientos.

**José Manuel Zepeda Lemus.**

## INDICE

CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES. ....	1
1.0. INTRODUCCION. ....	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. Objetivo general: _____	4
1.3.2. Objetivos específicos: _____	4
1.4. ALCANCES.....	5
1.5. LIMITACIONES. ....	6
1.6. JUSTIFICACION. ....	7
CAPITULO II .....	8
MARCO TEORICO CONCEPTUAL. ....	8
2.0. INTRODUCCION. ....	9
2.1. DEFINICION DE PAVIMENTO .....	9
2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS .....	10
2.2.1. Pavimento rígido _____	10
2.2.2. Pavimentos flexibles. _____	10
2.2.2.1. Generalidades. _____	10
2.2.2.2. La subrasante. _____	12
2.2.2.3. La subbase. _____	12
2.2.2.4. La base. _____	12
2.2.2.5. La carpeta asfáltica. _____	12

2.2.3.	Funciones de las capas de un pavimento flexible. _____	13
2.2.3.1.	La subrasante. _____	13
2.2.3.2.	La subbase granular _____	13
2.2.3.3.	La base granular. _____	14
2.2.3.4.	Carpeta asfáltica. _____	14
2.2.4.	Daños y soluciones actuales en los pavimentos flexibles de El Salvador. ____	14
2.2.5.	Estrategias de mantenimiento en pavimentos flexibles en El Salvador: _____	15
2.3.	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	17
2.3.1.	Definición y funciones. _____	17
2.3.1.1.	Tratamiento superficial simple. _____	18
2.3.1.2.	Tratamiento superficial doble _____	18
2.3.1.3.	Las principales funciones de los tratamientos superficiales son: _____	19
2.3.1.4.	Actividades constructivas _____	20
2.3.1.5.	Equipos _____	20
2.4.	EMULSIONES ASFALTICAS. ....	22
2.4.1.	Composición de las emulsiones asfálticas. _____	22
2.4.1.1.	Asfalto _____	22
2.4.1.2.	Agua _____	23
2.4.1.3.	Agente emulsivo. _____	23
2.4.1.4.	Filler mineral (relleno mineral) _____	23
2.4.2.	Clasificación de las emulsiones asfálticas. _____	24
2.4.2.1.	Por su carga eléctrica. _____	24
2.4.2.2.	Por la velocidad de rotura. _____	24
2.5.	ASFALTOS MODIFICADOS.....	26
2.5.1.	Objetivo de la modificación. _____	26
2.5.2.	Beneficios que se buscan con la modificación del asfalto. _____	27
2.6.	POLIMEROS. ....	27

2.6.1.	Definición	27
2.6.2.	Clasificación de polímeros.	28
2.7.	TRAMO DE ESTUDIO	28
2.7.1.	Ubicación geográfica.	28
2.7.2.	Localización del tramo de estudio.	29
2.7.3.	Estado actual del tramo de estudio.	29
CAPITULO III		31
ENSAYOS PREVIOS AL DISEÑO DEL DOBLE TRATAMIENTO Y DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION MODIFICADA.		31
3.1	ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS.	32
3.1.1	Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. (ASTM C131)	32
3.1.2	Método de prueba estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. (ASTM C 127)	34
3.1.3	Método de prueba estándar para densidad aparente (peso unitario) y vacíos en el agregado. (ASTM C 29).	36
3.1.4	Método de prueba estándar para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos y método de prueba estándar para los materiales más finos que 75 micras (No. 200) de los agregados minerales por lavado. (ASTM C 136 y ASTM C 117).	37
3.2	Ensayos para caracterizar emulsión CRS – 2PE	38
3.2.1	Método de prueba estándar para la viscosidad de la emulsión asfáltica por viscosímetro Saybolt Furol (SSF) A 50°C. (ASTM D244).	39
3.2.2	Método de prueba estándar para la liquidación y estabilidad de almacenamiento de la emulsión asfáltica. (ASTM D 6930).	40
3.2.3	Práctica estándar para la identificación de la emulsión asfáltica catiónica (ASTM D 7402)	41
3.2.4	Método de prueba estándar para las partículas de gran tamaño en la emulsión asfáltica (prueba de tamiz %). (ASTM D 6993)	43

3.2.5	Método de prueba estándar para destilación de la emulsión asfáltica (determinación cuantitativa de porcentaje de residuos). (ASTM D6997)	45
3.2.6	Método de prueba estándar para la penetración de materiales asfálticos. (ASTM D5)	48
3.2.7	Método de prueba estándar para la ductilidad de los materiales asfálticos (ASTM D113).	52
3.2.8	Método de prueba estándar para la determinación del punto de ablandamiento de los materiales asfálticos. (ASTM D 36)	53
3.2.9	Método de Prueba Estándar para Residuo por Evaporación de la Emulsión Asfáltica. (ASTM D 6934)	54
3.2.10	METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL BARRIDO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION BITUMINOSA ASTM D 7000.	56
3.3	DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA.	63
3.3.1	Tránsito de diseño.	63
3.3.2	Método de diseño Kearby modificado	66
	Cantidad de agregado.	66
	Tasa de aplicación de asfalto.	66
	Ajuste de emulsiones asfálticas o recortes.	68
3.3.3	Método de diseño McLeod. (ver tabla 3.13 a 3.24)	70
	Dosis de agregados.	72
	Dosis de ligante.	73
3.3.4	Tasas de aplicación calculadas.	73
3.3.4.1	Método de diseño Kearby modificado.	73
3.3.4.2	Método de diseño Mcleod.	75
CAPITULO IV		79
ANALISIS DE RESULTADOS		79
4.1	ANALISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE DOBLES TRATAMIENTO CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA.	80

4.1.1	Análisis de ensayos de agregados: ASTM C131, ASTM C127, ASTM C29, ASTM D136. _____	80
4.1.2	Análisis de ensayos de mezcla asfáltica: ASTM D 244, ASTM D 7402, ASTM D 6934, ASTM D 6997, ASTM D 6993, ASTM D 6930, ASTM D 70, ASTM D 5, ASTM D 113, ASTM D 36. _____	81
4.1.3	Análisis de diseño de doble tratamiento con emulsión asfáltica modificada. __	82
4.1.4	Análisis de resultado y desempeño de la prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D7000. _____	83
CAPITULO V .....		85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		85
5.1	CONCLUSIONES .....	86
5.2	RECOMENDACIONES .....	87
5.3	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....	88
5.4.	GLOSARIO. _____	89
ANEXOS .....		94

## **INDICE DE FIGURAS**

FIGURA # 2. 1	Componentes de un pavimento. ....	11
FIGURA # 2. 2	Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Simple .....	18
FIGURA # 2. 3	Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Doble.....	19
FIGURA # 2. 4	Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble .....	21
FIGURA # 2. 5	Clasificación de polímeros .....	28
FIGURA # 2. 6	Emulsión y agregado derramado en cuneta.....	29
FIGURA # 2. 7	Condiciones actuales de la superficie de la carretera.....	30
FIGURA # 2. 8	Condiciones actuales de la superficie de la carretera.....	30



FIGURA # 3. 1 Esquema de ensayo de carga eléctrica de una emulsión. ....	42
FIGURA # 3. 2 Compactador para ensayo de barrido. ....	58
FIGURA # 3. 3 Molde para ensayo de barrido.....	60
FIGURA # 3. 4 Maquina de barrido. ....	62
FIGURA # 3. 5 Relación de empotramiento, porcentaje de espesor del material para determinar la cantidad de asfalto.....	67

### **INDICE DE GRAFICOS**

GRAFICO # 3. 1 Tráfico vehicular para periodo de diseño. ....	65
---	----

### **INDICE DE TABLAS**

TABLA # 3. 1 Muestra de ensayo y carga en la máquina de Los Angeles. ....	33
TABLA # 3. 2 Método de prueba estándar para la penetración de materiales bituminosos.....	49
TABLA # 3. 3 Condiciones para pruebas especiales.....	50
TABLA # 3. 4 Rangos de la unidad entera más cercana.(mm).....	51
TABLA # 3. 5 Criterios de aceptabilidad de resultados.(Residuo por evaporación).....	56
TABLA # 3. 6 Dimensiones de cepillo de nylon de gaza.....	57
TABLA # 3. 7 Criterios de aceptabilidad de resultados.(Prueba de Barrido).....	57
TABLA # 3. 8 Criterios de aceptabilidad de resultados (Emulsión Bituminosa).....	59
TABLA # 3. 9 Transito de diseño.....	64
TABLA # 3. 10 Aplicación de asfalto de corrección de tráfico.....	68
TABLA # 3. 11 Aplicación de asfalto de corrección de la superficie. ....	68
TABLA # 3. 12 Factor de desperdicio.....	71

TABLA # 3. 13 Factor T de corrección por nivel de tráfico.....	71
TABLA # 3. 14 Factor de corrección S por textura superficial, utilizado en Minnesota. ...	72
TABLA # 3. 15 Tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado.....	73
TABLA # 3. 16 Cuadro resumen de variables utilizadas en el método Kearby Modificado. .....	74
TABLA # 3. 17 Tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado.....	74
TABLA # 3. 18 Cuadro resumen de tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado. ....	75
TABLA # 3. 19 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Agregado $\frac{3}{4}$ " ) .....	76
TABLA # 3. 20 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Emulsión en primera capa) .....	76
TABLA # 3. 21 Cuadro resumen de variables utilizadas en el método McLeod. ....	76
TABLA # 3. 22 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Agregado $\frac{3}{8}$ " ) .....	77
TABLA # 3. 23 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Emulsion segunda capa) .....	77
TABLA # 3. 24 Cuadro resumen de dosificación segun el método McLeod. ....	78
TABLA # 4. 1 Tasa de aplicación para la primera y segunda capa. ....	83

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Determinación del porcentaje de desgaste ASTM C 131 .....	95
ANEXO 2 Determinación del porcentaje de desgaste ASTM C 131 .....	96
ANEXO 3 Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127.....	97

ANEXO 4 Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127.....	98
ANEXO 5 Peso volumétricos y vacíos en el agregado (3/4" varillado) ASTM C 29. ....	99
ANEXO 6 pesos volumétricos y vacíos en el agregado (3/8" varillado) ASTM C 29.....	101
ANEXO 7 Pesos volumétricos y vacíos en el agregado (3/8" suelto) ASTM C 29 .....	103
ANEXO 8 pesos volumétricos y vacíos en el agregado (3/4" suelto) ASTM C 29.....	105
ANEXO 9 prueba de tamizado de agregado grueso (3/4") ASTM C 136.....	107
ANEXO 10 curva granulométrica agregado de 3/4" ASTM C 136.....	108
ANEXO 11 prueba de tamizado de agregado grueso (3/8") ASTM C 136.....	109
ANEXO 12 curva granulométrica de agregado 3/8" grueso ASTM C 136.....	110
ANEXO 13 prueba de barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D7000.....	111
ANEXO 14 Control de calidad de la emulsión asfáltica.....	112
ANEXO 15 fotografías de pruebas de laboratorio de determinación del porcentaje de desgaste (ASTM C131).....	113
ANEXO 16 fotografías, peso y colocación en máquina de los angeles de la muestra (ASTM C131).....	114
ANEXO 17 fotografías gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM C 127) .....	115
ANEXO 18 fotografías, peso de muestra superficialmente seca y peso de muestra en tanque. (ASTM C127) .....	116
ANEXO 19 fotografías, prueba para análisis granulométrico (ASTM C136).....	117
ANEXO 20 fotografías, prueba estándar para densidad aparente (peso unitario) y vacíos en el agregad (ASTM C 29).....	118

ANEXO 21 índice de lajas (norma bs 812) .....	119
ANEXO 22 fotografías, Prueba de la placa. ....	119
ANEXO 23 fotografías, diseño de tratamiento (Método de Kearby y Método de McIod) (cuarteo de grava y calentamiento en baño marida de emulsión a utilizar) .....	120
ANEXO 24 fotografías, de aplicación de primera capa de emulsión y agregado.....	121
ANEXO 25 fotografías de segunda aplicación, seguida de su compactación. ....	122
ANEXO 26 fotografías, prueba de desempeño. (ASTM D7000) peso de emulsión y elaboración de especímenes. ....	123
ANEXO 27 fotografías, ensayo en máquina de barrido, prueba (ASTM D7000).....	124

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES.**

## **1.0. INTRODUCCION.**

Este capítulo inicia con una reseña histórica acerca del “Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada,” utilizado en países extranjeros y en El Salvador, luego se da a conocer el planteamiento del problema así como el motivo por el cual se pretende realizar la investigación (su Justificación), además se mencionan los objetivos que se pretenden alcanzar y finaliza con los alcances y limitantes que regirán el desarrollo de la investigación.

### **1.1. ANTECEDENTES.**

Hacia finales de 1920 los gobiernos de la región centroamericana concedieron mayor importancia a las carreteras y ampliaron antiguas veredas. En el año de 1945 se consideraba que la red vial en Centroamérica ya superaba los 40,000 Km. En su gran mayoría eran carreteras de tierra, transitables parcialmente en época seca y muy pocos caminos, a lo sumo el 10% contaban con cubierta de rodadura. En El Salvador el 52% de vías son pavimentadas y 48% son no pavimentadas<sup>1</sup>, de estas últimas muchas son de bajo volumen de tránsito, y son recorridas generalmente por un volumen menor de 50 vehículos por día, y muy pocas veces llegan a 200 diarios.

En los últimos años los factores de tráfico han tenido algunos cambios por ejemplo; cargas más pesadas, altos volúmenes de tránsito, altas presiones de inflado en llantas, retrasos en el mantenimiento de las vías debido a recortes de presupuesto o a falta de fondos para atenderlas oportunamente y altos costos en la construcción de pavimentos han creado la tendencia de reducir la calidad de los pavimentos, reduciendo también la vida de servicio, es por ello que surge la necesidad de implementar nuevos métodos para la conservación de pavimentos.

En El Salvador se ha estado utilizando desde principio de la década de los noventa mezclas emulsionadas en frío para la construcción y mantenimiento de calles, caminos y carreteras, entre éstas se puede mencionar algunas como la experiencia del aeropuerto Internacional

---

<sup>1</sup> Revista PAVEMENT 2003, pag 23, tomo1.

Oscar Arnulfo Romero <sup>2</sup>, donde se aplicó un Microsurfacing (micro pavimento osellos para ampliar el tiempo de vida de las carreteras), se tiene también la aplicación de un Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada en la calle Tramo Comasagua-Chiltiupán departamento de La Libertad.

Los tratamientos superficiales son aplicaciones uniformes de asfalto, con dosificaciones, variables en pavimentos existentes, y tienen por finalidad el mejorar y conservar las características físicas y mecánicas de las superficies tratadas.

Debido al alto costo que implica la construcción de una carretera y con el deseo de aumentar y mejorar la calidad y la conservación de la red vial, es necesario el uso de soluciones económicas que respondan de buena manera frente a las exigencias de cantidad de flujo vehicular, tipo de clima de la zona y disponibilidad de materiales, dentro de estos tipos de soluciones económicas se encuentran los Tratamientos Superficiales para mantenimiento preventivo en carreteras asfálticas, los cuales presentan un menor costo asociado a la construcción que los otros tipos de pavimentos de asfalto y de hormigón, y responden con una satisfactoria calidad técnica en caminos donde las solicitudes de tránsito son relativamente bajas a medias.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el país hay diferentes tipos de carreteras con distintos volúmenes y velocidades de tráfico cada una con distintas condiciones climáticas y tipos de suelos, darle mantenimiento a la vialidad salvadoreña representa costos, ya que cabe señalar que uno de los grandes problemas es la gestión que se aplica en la cual las actividades realizadas en esta área, se dan como respuesta a los distintos problemas existentes en las vías asfálticas, y no como una prevención a los mismos, debido a esta práctica en el país se tienen carreteras deterioradas con elevados costos de reconstrucción. Mantener una carretera en buen estado prolonga la vida útil de ésta y mantiene la servicialidad para la cual fue diseñada, proporcionando seguridad y comodidad a lo largo de toda la vida útil; aplicar un

---

<sup>2</sup> ver <http://asfalca.com/microsurfacing/.php>

tratamiento de carácter preventivo es correcto siempre y cuando se aplique en el momento adecuado, de lo contrario al requerir un tratamiento de carácter correctivo (bacheo, sellos de grietas, sobre carpetas no estructurales, etc.) ocasiona costos adicionales en los cuales incurre el estado causando pérdidas económicas. En nuestro país ya existen los tratamientos superficiales que son de carácter preventivo uno de ellos es el “DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICA”, el problema es que instituciones serias como el Ministerio De Obras Públicas (MOP) y el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) requiere que haya un estudio en el cual se respalde mediante pruebas de laboratorio, y de acuerdo a los procedimientos que dictan las normas ASTM en la calidad de los agregados y emulsión asfáltica, demostrando que este tipo de tratamiento cumple con los parámetros dados en las normas, debido a esto se necesita realizar la investigación y así poder implementar este método en nuestro país.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

- Diseñar el Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada (CRS-2PE) y demostrar el buen desempeño de este mediante pruebas de laboratorio para poder utilizarlo en carreteras secundarias y terciarias de nuestro país.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Evaluar el deterioro y estado actual del Tramo Comasagua-Chiltiupán en el departamento de La Libertad donde se aplicó un Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada y demostrar su buen desempeño.
- Utilizar el Método Kearby Modificado para el diseño del tratamiento superficial con la Emulsión Asfáltica Modificada (CRS-2PE)
- Realizar ensayos de calidad a los agregados utilizando las normas: ASTM C131, ASTM C 127, ASTM C29 Y ASTM D 136.



- Realizar ensayos de calidad a la mezcla asfáltica a utilizar CRS-2PE con las siguientes normas: ASTM D244, ASTM D6930, ASTM D7402, ASTM D6993, ASTM D6997, ASTM D5, ASTM D113, ASTM D36, ASTM D6934.
- Determinar el desempeño del Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada utilizando la norma ASTM D7000.

#### **1.4. ALCANCES.**

A través de la realización de nuestra investigación en el tema **“DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA”** se pretende dar una nueva alternativa en lo que respecta al mantenimiento preventivo de una carretera y que se pueda utilizar en nuestro país.

El trabajo de grado tendrá los siguientes alcances.

- Determinación de la calidad de la Grava a utilizar en el Diseño de Doble tratamiento superficial con emulsión Asfáltica modificada según normas ASTM C131, ASTM C 127, ASTM C29 Y ASTM D 136.
- Utilizar la emulsión CRS-2PE (catiónica de rompimiento rápido, de alta viscosidad, modificada con polímero-plastomero) para el Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada.
- Realización de ensayos y dosificaciones según Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS-N°19.
- Visita e inspección visual a un tramo de carretera en el municipio de Comasagua departamento de La Libertad el cual se le aplicó un doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada.
- Evaluar el desempeño del doble tratamiento mediante la prueba ASTM D7000.
- Documentar la información mediante la realización de los ensayos en los laboratorios de la UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR y de la empresa ASFALCA S.A de C.V.

## 1.5. LIMITACIONES.

El Diseño De Doble Tratamientos Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada está sujeto a las restricciones que a continuación se presentan:

- La técnica del Doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada es muy poco utilizada y con escasa información es nuestro país.
- No se realizará la prueba estabilidad de los agregados ante la acción de sulfato de sodio o sulfato de magnesio ASTM C 88, debido a que en nuestro país no nieva y por lo tanto no se utiliza sal en las carreteras.
- Los ensayos se realizarán en el plantel de la empresa ASFALCA S.A. de C.V, y en el Laboratorio de la UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR consecuentemente las visitas al laboratorio de la empresa ALFALCA estarán sujetas al dinamismo interno de ésta y se utilizará el equipo de laboratorio que la misma requiere en su desempeño, de ahí que se realizarán las pruebas necesarias para determinar la calidad de los agregados y la emulsión.
- La investigación a desarrollar no incluirá el análisis y diseño de las subcapas de una carretera (base y sub-base) ya que esta técnica es Tratamiento Superficial.
- A pesar de la existencia de emulsiones aniónicas, estas no serán tomadas en cuenta debido a su desuso en nuestro país, dado que las emulsiones catiónicas son las que están siendo empleadas actualmente, por el hecho que las catiónicas tienen carga positiva la cual se adhiere mejor al agregado( grava).
- No se cuenta con criterios de diseño propios de El Salvador, por lo que las pruebas de laboratorio a desarrollar serán de acuerdo a parámetros normadas por las ASTM.
- El diseño de la emulsión (CRS-2PE) es propiedad de la empresa ASFALCA, por tanto no se conocen las propiedades químicas, sin embargo se realizaran las pruebas de control de calidad en base a normas ASTM y el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas.

## **1.6. JUSTIFICACION.**

El mantener un sistema vial en buenas condiciones requiere grandes inversiones para un país; es por ello que ha surgido la inquietud de colaborar con la sociedad y diseñar un tratamiento de carácter preventivo como es el Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada la cual consistirá en diseñar este tipo de tratamiento utilizando una emulsión modificada con polímero específicamente plastómero (CRS-2PE) con lo que se busca agregarle una mayor durabilidad al tratamiento y características que lo hagan resistente a las condiciones climáticas del país, además de ser amigable con el medio ambiente debido a que su elaboración y colocación se realiza a temperatura ambiente lo que la hace una alternativa orientada a un desarrollo sostenible en pavimento flexible. Por lo tanto esta investigación pretende impulsar el “DISEÑO DEL DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA” como una técnica de preservación en pavimentos flexibles y que aporta un bien ecológico, económico y de calidad, entre otros aspectos importantes, que de una manera u otra contribuyen con el desarrollo y crecimiento de un país.

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO CONCEPTUAL.**

## **2.0. INTRODUCCION.**

Se presenta el capítulo 2 del trabajo de grado “DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA” el contenido del presente empieza dando una definición de pavimento y a la vez identificando los tipos de pavimento que existen; se identifican también las partes que componen un pavimento y la función de los pavimentos flexibles en El salvador, además de mencionar las distintas técnicas para el mantenimiento preventivo de dichos daños.

Para la correcta elección de una de las técnicas es necesario conocer primero su composición ya sea la emulsión asfáltica como así también los agregados, en nuestro caso será una emulsión modificada con polímero es por ellos que detallamos los beneficios que se buscan con la modificación de la emulsión además de detallar la clasificación de los distintos tipos de polímeros que existen.

### **2.1. DEFINICION DE PAVIMENTO<sup>3</sup>**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas producidas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores de manera distribuida, proporcionando una superficie de rodamiento que debe trabajar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia que controle las cargas para evitar el agrietamiento, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los efectos abrasivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuadavisibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías; además, que son los materiales que más comúnmente

---

<sup>3</sup>Tesis “Guía Básica De Diseño, Control De Producción Y Colocación De Mezclas Asfálticas En Caliente” José Mauricio Cortez, Hugo Wilfredo Guzmán, Amílcar Daniel Reyes.

se encuentran en la naturaleza y consecuentemente más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas dependerá del material que la constituye y el procedimiento constructivo; dos factores importantes son la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas de tráfico, produciendo deformaciones permanentes.

## **2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS<sup>4</sup>**

Básicamente existen dos tipos de pavimentos:

### **2.2.1. Pavimento rígido**

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

### **2.2.2. Pavimentos flexibles.**

#### **2.2.2.1. Generalidades.**

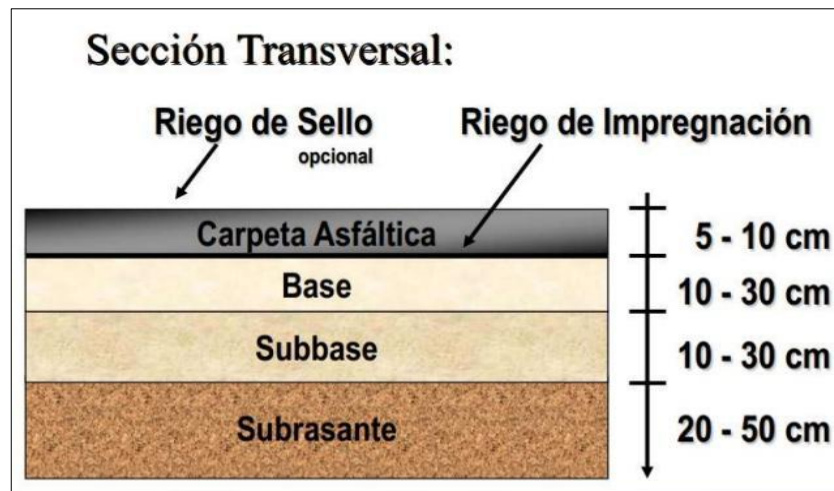
Un pavimento flexible es una estructura de ingeniería en contacto con el suelo, la cual sirve para el transporte de personas y de bienes. Está constituida por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las cuales usualmente son de material granular, (ver figura# 2.1). Se construyen con distintos fines, tales como: intercambio comercial, seguridad, mejorar accesos, mejorar movilidad, incremento de actividad económica. Por lo que se requiere que un pavimento flexible sea: confortable, con buen acceso, seguro, durable, de bajo costo, de fácil construcción.

---

<sup>4</sup>Tesis “Diseño De Mezclas Asfálticas Para Prevenir El Fenómeno De Ahuellamiento” Tania Libertad Victoria Góchez Rivas, Xavier Edgardo Monroy González, Mario Ernesto Ventura Lima.

Un pavimento flexible está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub-rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. Un pavimento de una estructura, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática.

**FIGURA # 2. 1 Componentes de un pavimento.**



**Fuente:** Tesis“Guía para el control y el aseguramiento de calidad de construcción de pavimento flexible elaborados con mezclas asfálticas en El Salvador”. Ángel Leónidas Antonio Maldonado Merino.

#### **2.2.2.2. La subrasante.**

Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural sirve para determinar el espesor de corte o terraplén. No es más que el suelo preparado y compactado para soportar una estructura o un sistema de pavimento.

#### **2.2.2.3. La subbase.**

En ingeniería de carreteras, es la capa de agregado de material establecido en el subsuelo, en el que la capa de base se encuentra colocada.

Una subbase granular es una capa de material que se encuentra entre la base y la subrasante en un pavimento asfáltico. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior. Se encuentra constituida por materiales granulares.

#### **2.2.2.4. La base.**

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento o estabilización para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

#### **2.2.2.5. La carpeta asfáltica.**

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de partícula y adherencia con el asfalto.



### **2.2.3. Funciones de las capas de un pavimento flexible.<sup>5</sup>**

#### **2.2.3.1. La subrasante.**

- Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son permitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

#### **2.2.3.2. La subbase granular**

- **Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es puramente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para el nivel de esfuerzos en la sub-rasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.
- **Capa de Transición.** La sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub-rasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de las Deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa sub-rasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

---

<sup>5</sup> Tesis “Tratamiento Superficial Simple Tipo Cape Seal” Jazmín Lizeth Cerón, Sergio Martínez Duran, Marjorie Del Carmen Morales.

- Resistencia. La subbase debe de soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la subrasante.
- Drenaje. En muchos casos la sub-base debe de drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

#### **2.2.3.3. La base granular.**

- Resistencia. La función fundamental de la base granular de un pavimento flexible consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- Función Económica. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub-base respecto a la base.

#### **2.2.3.4. Carpeta asfáltica.**

- Superficie de Rodamiento. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Impermeabilidad. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- Resistencia. Su resistencia a la tensión completa la capacidad estructural del pavimento

#### **2.2.4. Daños ysoluciones actuales en los pavimentos flexibles de El Salvador.**

Se denomina mantenimiento, o conservación, de pavimentos a los trabajos constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción prematura de una obra y que los mantienen en su calidad y valor.

El mantenimiento solo debe incluir los trabajos, que en términos generales, están orientados a preservar el pavimento para que preste un servicio adecuado, por el tiempo previsto en el diseño y bajo las condiciones de tránsito y ambientales prevalecientes. De acuerdo con ello, un camino bien diseñado y perfectamente construido sobre un terreno ideal de

características homogéneas, no debería requerir más mantenimiento que el que corresponde a operaciones de conservación rutinaria y periódica.

Los problemas más comúnmente observados en estos pavimentos flexibles son presentados en la tabla #2.1.

#### **2.2.5. Estrategias de mantenimiento en pavimentos flexibles en El Salvador:**

- **Tratamientos superficiales simples (Chip Seal).**

De los métodos de mantenimiento de bajo costo, es el más importante provee una superficie para todo tipo de climas, renueva pavimentos intemperizados, mejora la resistencia al deslizamiento, la demarcación de carriles y sella pavimentos.

- **Sellos de grietas**

Es elaborado con materiales diferentes a los asfaltos modificados o selladores especialmente preparados para grietas y juntas. La mayoría de estos son emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados. Mantienen una grieta sellada firmemente cuando el pavimento permanece estacionario en ambos planos, es decir vertical y horizontalmente, una vez que se expande o se contrae, o que ocurra algún movimiento vertical excesivo, la efectividad del sellado puede perderse y las grietas requerirán de sellarse nuevamente.

- **Riego pulverizado (FogSeal)** Una ligera aplicación de riego ligante aplicado a la superficie de un tratamiento superficial, una mezcla abierta o una superficie de mezcla caliente intemperizada. Funciona parcialmente como sellado de fisuras, reduce el desprendimiento y enriquece superficies intemperizadas.

- **Bacheo**

El procedimiento de bacheo para mantenimiento de carreteras de pavimentos flexibles, se resumen en los siguientes pasos:

- Cerrar el paso vehicular.
- Delinear el área a subsanar.

- Cortar el pavimento en forma rectangular o cuadrada, dependiendo del tamaño del bache; proceso también conocido como “Cajear el bache.”
- Limpiar el bache con una barrida. (Sólo si necesario).
- Aplicar el riego de liga.
- Vaciar la mezcla asfáltica en el centro del bache.
- Esparcir la mezcla con un rastrillo buscando cubrir toda el área dañada.
- Compactar la mezcla.
- Limpiar el área reparada
- Habilitar tráfico

**Tabla # 2. 1 Problemas comúnmente observados en pavimentos flexibles**

<b>PRINCIPALES PROBLEMAS</b>	<b>Agrietamiento por fatiga</b>	<b>Ahuellamiento</b>	<b>Otros</b>
<b>FORMAS TIPICAS</b>	Abajo hacia arriba	AC ( Concreto Asfáltico)	Exudación
	Arriba hacia abajo	Capas inferiores	Perdida de Agregado
	Reflectiva		Oxidación
			Sangrado

- **Fuente:** Tesis“Guía para el control y el aseguramiento de calidad de construcción de pavimento flexible elaborados con mezclas asfálticas en El Salvador”. Angel Leónidas Antonio Maldonado Merino.

- **Slurryseal(lechada asfáltica)**

Empleada en el mantenimiento de aeropuertos y calles de ciudad, donde no es tolerable el agregado suelto, sella, llena depresiones menores, provee una superficie fácil de barrer.

- **Microsurfacing(micropavimento)**

Recarpeteo de alto desempeño empleado en mantenimiento de carreteras, calles urbanas y

aeropuertos, donde se requiere una superficie durable y resistente a la fricción. Rápida corrección de la superficie del camino.

- **Sobre carpetas no estructurales.**

Cuando las operaciones de mantenimiento se vuelven excesivamente caras y es difícil conservar la carpeta con la textura adecuada, porque se tiene que ensanchar el pavimento o por otras razones, al pavimento viejo debe ponerse una nueva carpeta. Antes de emprender un proyecto para recubrir la superficie de un camino, se hará un estudio cuidadoso de su justificación económica<sup>6</sup>. Una regla empírica y general consiste en que es probable que la carpeta sea económica cuando un 2 o 3 % del área total que esta pavimentada requiera operaciones de bacheo cada año.

## **2.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.**

### **2.3.1. Definición y funciones.**

Tratamiento asfáltico de superficie (AsphaltSurfaceTreatment) es un término amplio que engloba varios tipos de aplicaciones con asfalto y asfalto – agregado, usualmente de menos de 25 mm (1 pulgada) de espesor y aplicado a cualquier tipo de superficie de camino. La superficie del camino puede ser una base granular imprimada, un asfalto existente, o un pavimento de concreto de cemento Portland.

Adecuadamente contruidos, los tratamientos asfálticos de superficie son económicos, fáciles de colocar y de larga duración. Todos ellos sellan y agregan años de servicio a las superficies de los caminos; pero cada uno de ellos tiene uno o más propósitos especiales.

Un tratamiento de superficie no es en sí mismo un pavimento. Es principalmente una técnica de mantenimiento económicamente efectiva para prolongar la vida de servicio del pavimento. Resiste la abrasión del tráfico y provee impermeabilización para la estructura inferior. Un tratamiento de superficie agrega poca resistencia estructural y, por lo tanto, normalmente no se toma en cuenta al determinar la capacidad portante de un pavimento.

---

<sup>6</sup> “Análisis comparativo de pavimentos rígidos y flexibles” CANACEL 2012.

Si bien, empleado correctamente, un tratamiento de superficie puede proveer una excelente superficie resistente al deslizamiento, no es una panacea para todos los problemas del pavimento. Para obtener los mejores resultados, es esencial una clara comprensión de las ventajas y limitaciones de los tratamientos de superficie con emulsiones asfálticas. La intensidad del tráfico, las condiciones del pavimento existente, la estructura del pavimento existente, las condiciones climáticas y los materiales disponibles deberían tenerse en consideración al elegir y diseñar un tratamiento de superficie.

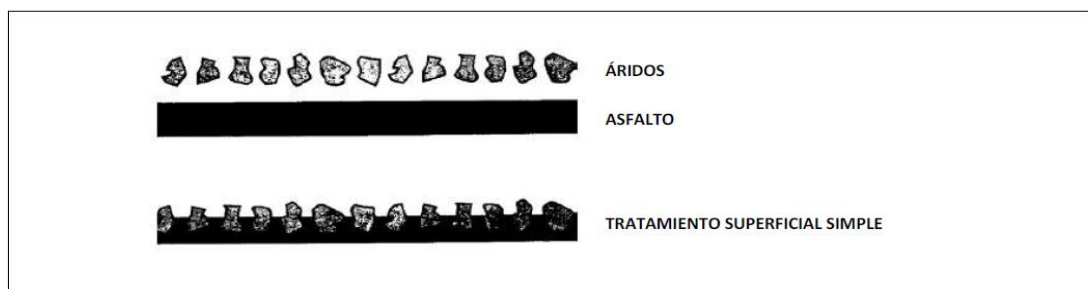
### 2.3.1.1. Tratamiento superficial simple.

Consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible (ver figura 2.2). Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta.

### 2.3.1.2. Tratamiento superficial doble<sup>7</sup>

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total (ver figura 2.3) es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

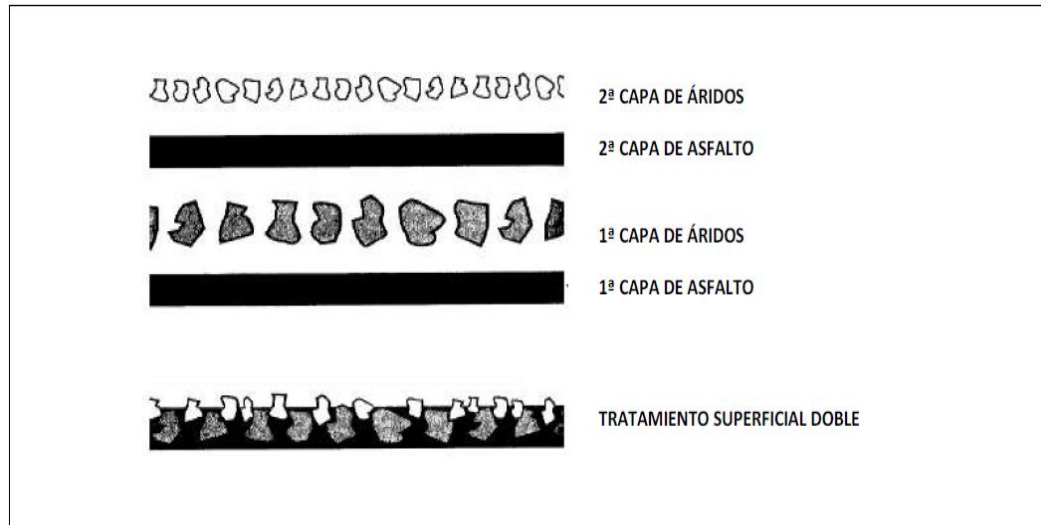
**FIGURA # 2. 2 Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Simple**



**Fuente:** Tesis “Seguimiento De Un Doble Tratamiento Superficial Para Camino De Alto Transito”  
Ángela Bernardita Queirolomenz

<sup>7</sup> Tesis “Seguimiento De Un Doble Tratamiento Superficial Para Camino De Alto Transito” Ángela Bernardita Queirolomenz

**FIGURA # 2. 3 Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Doble**



**Fuente:** Tesis “Seguimiento De Un Doble Tratamiento Superficial Para Camino De Alto Transito”  
Ángela Bernardita QueiroloMenz

### **2.3.1.3. Las principales funciones de los tratamientos superficiales son:**

Los tratamientos de superficie se emplean principalmente para:

- Proveer una superficie económica, para todo tipo de climas, para tráfico liviano a mediano. Cuando se emplean emulsiones modificadas con polímeros y agregados de alta calidad, los tratamientos de superficie pueden utilizarse en aplicaciones para mayores volúmenes de tráfico.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento. Aquellos pavimentos que se han tornado resbaladizos debido a la exudación del asfalto (bleeding) y desgaste y pulimiento de los agregados pueden ser tratados con agregados resistentes y angulosos para devolver la resistencia al deslizamiento. Para este propósito, los sellados dobles son ideales.
- Dar nueva vida a una superficie intemperizada. La serviciabilidad de un pavimento afectado por el intemperismo, por desprendimientos, puede ser restaurada mediante la aplicación de un tratamiento de superficie simple o múltiple.

- Proveer una capa temporal para una nueva base. El tratamiento de superficie es una cubierta apropiada para una nueva base a utilizarse durante el invierno o para construcción planeada en etapas. El tratamiento de superficie, particularmente un sellado doble, es una excelente superficie temporal hasta que las capas finales de asfalto son colocadas.
- Recuperar viejos pavimentos deteriorados por envejecimiento y fisuración térmica o por excesivas tensiones. Si bien aporta poca o ninguna resistencia estructural, un tratamiento de superficie puede preservar la capacidad estructural existente al impermeabilizar y servir como una medida adecuada para detener el proceso de fisuración hasta que una más permanente rehabilitación del pavimento pueda ser completada.

#### **2.3.1.4. Actividades constructivas**

Básicamente la construcción de un Tratamiento Superficial Simple (TSS) consta de las siguientes operaciones sucesivas:

1. Marcar el área a tratar mediante líneas visibles.
2. Recepción de la superficie a cubrir por el TSS.
3. Limpieza de la superficie.
4. Aplicación del riego asfáltico según dosificación.
5. Riego de los áridos según dosificación.
6. Rodillado del tratamiento.
7. Barrido y remoción de los áridos excedentes.
8. Puesta en servicio con control de tránsito mediante un “vehículo - guía”.

Si el tratamiento es doble se deben repetir las operaciones 3), 4), 5), 6), 7) antes de 8), con las dosificaciones de la segunda aplicación (ver figura 2.4).

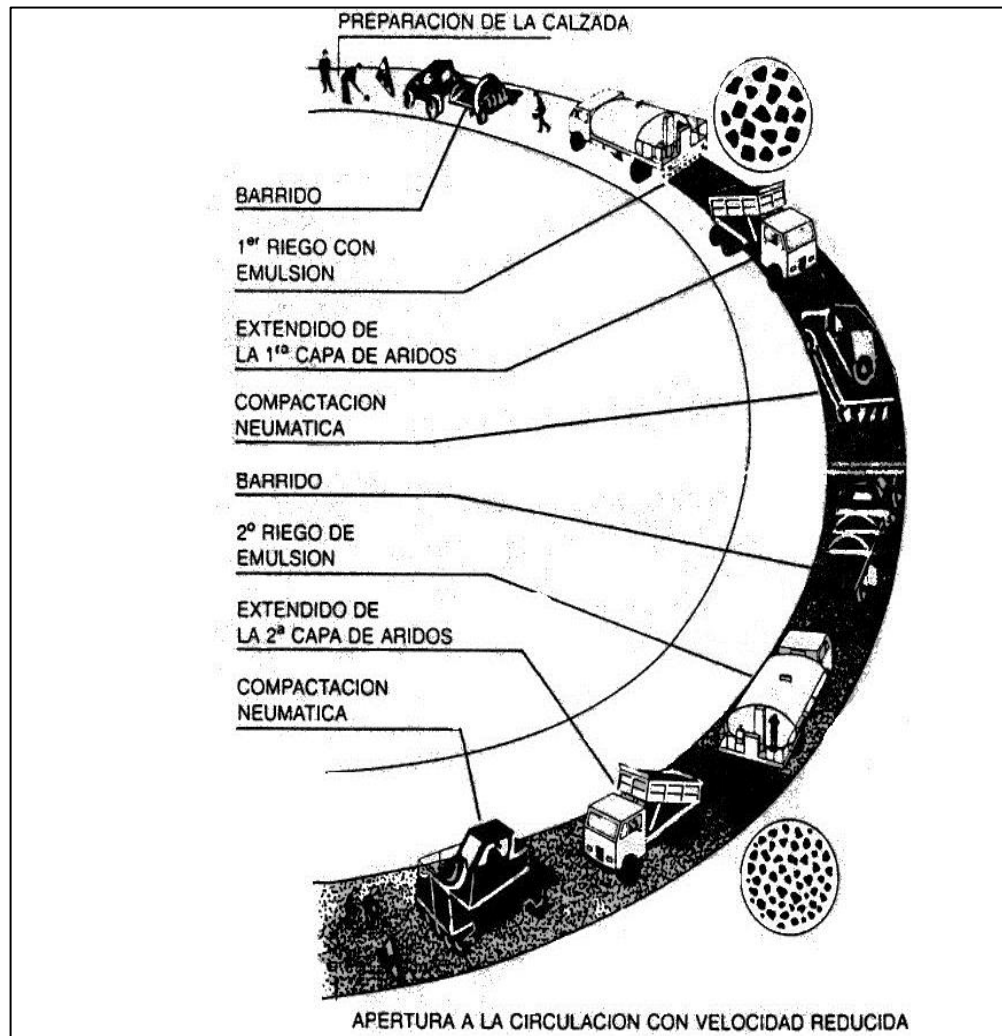
#### **2.3.1.5. Equipos**

El éxito de un tratamiento depende en gran medida del buen estado de conservación y del buen funcionamiento del equipo. El regador y la gravilladora deberán ser objeto de una



profunda revisión durante el invierno y antes de empezar la temporada, deberán realizarse ensayos para comprobar su buen estado, en una obra de este tipo, pueden distinguirse los siguientes equipos, camión regador de asfalto, rodillo metálico liso, compactador neumático, garbilladora.

**FIGURA # 2. 4** Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble



**Fuente:** Tesis “Seguimiento De Un Doble Tratamiento Superficial Para Camino De Alto Transito”  
Ángela Bernardita QueiroloMenz

## **2.4. EMULSIONES ASFALTICAS.<sup>8</sup>**

### **2.4.1. Composición de las emulsiones asfálticas.**

En cuanto a la composición de las emulsiones, la AsphaltEmulsionManufacturersAssociation (A.E.M.A) (1992), expresa que una emulsión asfáltica consiste en cuatro componentes básicos: asfalto, agua, agente emulsivo y filler. En algunas ocasiones la emulsión puede contener otros aditivos, como los estabilizantes mejoradores de recubrimientos, mejoradores de adherencia o agentes de control de rotura. La emulsión asfáltica a utilizar que conforman los tratamientos superficiales será una emulsión asfáltica catiónica ya que en la actualidad, alrededor del mundo y en nuestro país son las que se utilizan como componente de los tratamientos superficiales.

#### **2.4.1.1. Asfalto**

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Como aplicación de estas propiedades el asfalto puede cumplir, en la construcción de pavimentos, las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

---

<sup>8</sup> Tesis “Tratamiento Superficial Simple Tipo Cape Seal” Jazmín Lizeth Cerón, Sergio Martínez Duran, Marjorie Del Carmen Morales.

#### **2.4.1.2. Agua**

El segundo ingrediente en cantidad es el agua. No puede restarse importancia a su contribución para dotar al producto final de propiedades deseables. El agua humedece y disuelve; se adhiere a otras sustancias; y modera las reacciones químicas; estos factores permiten la producción de una emulsión satisfactoria. Por otro lado, el agua puede contener minerales u otras sustancias que afecten a las propiedades de la emulsión, son inadecuadas las aguas sin tratar a causa de sus impurezas, especialmente las que tienen iones de calcio y magnesio.

El agua usada para preparar emulsiones deberá ser razonablemente pura y libre de materias extrañas.

#### **2.4.1.3. Agente emulsivo.**

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsivos, este es una agente tensio-activo o surfactante que mantiene las gotas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas.

#### **2.4.1.4. Filler mineral(relleno mineral)<sup>9</sup>**

El Filler mineral es usado en el mortero asfáltico para mejorar la graduación del agregado, y principalmente para proporcionar a la superficie de rodadura alta resistencia al desgaste. Deben cumplir con las especificaciones ASTM D-242. Se usa entre 0.5 al 3 % en peso respecto al agregado seco. La dosificación será diseñada en laboratorio, mediante el ensayo de abrasión por inmersión bajo tráfico simulado para morteros asfálticos. Los filler más usado son: el Cemento Portland Tipo I y la Cal Hidratada.

Estos aditivos pueden ser muy efectivos en la obtención de mayores resistencias a corta edad y en la reducción de la susceptibilidad a la humedad de las mezclas con emulsiones,

---

<sup>9</sup>Pavimento asfáltico URL [http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos\\_ferro/manual/eg-2000/cap4/seccion423.htm](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/eg-2000/cap4/seccion423.htm)

particularmente aquellas elaboradas con arenas y gravas. Si bien en el principio se agregaban en forma seca, estos materiales se incorporan ahora en forma de lechada o comomezcla cemento agua o cal agua. Es necesaria una evaluación en laboratorio para determinar si los beneficios aportados por los aditivos son suficientes para justificar su aumento de costo.

#### **2.4.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas.**

Según el Manual básico de emulsiones asfálticas series MS-19, las emulsiones asfálticas tienen dos clasificaciones:

##### **2.4.2.1. Por su carga eléctrica<sup>10</sup>.**

Se dividen en: aniónica, catiónica y no iónica. En la práctica las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Las no iónicas pueden ganar importancia a medida que la tecnología de emulsiones avance. Las denominaciones aniónica y catiónica se refiere, a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. Este sistema de identificación se basa en una ley de electricidad básica donde las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen.

##### **2.4.2.2. Por la velocidad de rotura.<sup>11</sup>**

Una de las clasificaciones de las emulsiones asfálticas se basa en la velocidad con que las gotitas de asfalto coalescen (se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico), relacionada íntimamente con la rapidez con que la emulsión se vuelva inestable y rompa tras entrar en contacto con el agregado. Cuando la emulsión se vierte sobre agregados pétreos desaparece como tal, el agua se libera y finalmente se evapora, los glóbulos de asfalto se acercan, la atracción molecular llega a ser mayor que el rechazo electrostático dando origen a la unión de los glóbulos entre sí, hasta que finalmente se convierte en una película de asfalto. El fenómeno físico resultante de la evaporación del agua se

---

<sup>10</sup> Publicación técnica No 299 “mezclas asfálticas”. Sanfandila, 2006 secretaria de comunicaciones y transporte (S.C.T)

<sup>11</sup> “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Serie N° 19, AsphaltInstitute, AsphaltEmulsionManufacturersAssociation”.

complementa con otro físico-químico: los iones que cubren el asfalto se combinan con los de la superficie de los agregados. Cabe destacar que la rotura de una emulsión es un factor decisivo para definir la emulsión a usar en la obra según sea el tipo de tratamiento. La mayor o menor velocidad con que ocurre el proceso de rotura, cuando los glóbulos de asfalto coalescen al entrar en contacto con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie del pavimento, proporcionará otra manera de clasificar las emulsiones. De esta manera, las emulsiones se clasifican en: emulsiones asfálticas de rotura rápida, o bituminosas rápidas (RS Y CRS), las cuales rompen muy rápidamente, es decir, rompen en muy corto tiempo (usualmente unos minutos) por lo cual se utilizan en trabajos de riego y tratamientos superficiales con agregados pétreos limpios. Tienen escasa o ninguna habilidad para mezclarse con un agregado que contenga finos, puesto que al ponerse en contacto con éste, el rompimiento es casi de inmediato, por lo tanto el recubrimiento del material pétreo es insuficiente, hay que tener en cuenta que los materiales finos poseen mayor superficie específica<sup>12</sup> y por condición propia, aceleran el proceso de rotura. También se encuentran las QS, de rompimiento rápido, pero controlado, cuya diferencia con la RS es que ésta es diseñada para mezclarse con agregado fino.

Otra clase de emulsiones según su velocidad de rotura, son las denominadas de rotura media (MS, HFMS y CMS) y las de rotura lenta (SS y CSS), con las cuales es posible efectuar una amplia gama de mezclas en frío, según el tipo y granulometría del agregado, características de la maquinaria disponible y condiciones climáticas. Las emulsiones de rotura media mezclan bien con agregados gruesos, mientras que las de rotura lenta están diseñadas para mezclas con finos.

Según las especificaciones de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), al momento de identificar una emulsión por sus siglas se tiene que si se comienza por la letra

---

<sup>12</sup>La superficie específica es una propiedad de los sólidos, la cual es la relación entre el área superficial total y la masa del sólido o volumen en bruto, o área en la sección transversal.

C, significa que es catiónica, mientras que si existe una ausencia de esta letra, entonces es aniónica.

Las emulsiones asfálticas también se subdividen adicionalmente según una secuencia de números relacionados con su viscosidad y con la dureza (penetración) del cemento asfáltico base utilizado en su formulación. La “h” incluida en algunos grados significa que la base asfáltica es más consistente (hard, dura). Los números en la clasificación de la emulsión asfáltica indican la viscosidad relativa de la emulsión, Por ejemplo, una emulsión MS-2 es más viscosa que una emulsión MS-1. Las siglas CRS-2PE como lo es la emulsión que se ocupará para el Diseño De Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada significa que es una emulsión catiónica de rotura rápida, de alta viscosidad, con asfalto modificada con polímero.

## **2.5. ASFALTOS MODIFICADOS<sup>13</sup>.**

Hasta ahora el ligante asfáltico tradicional resistía bien la acción del clima y del tránsito, pero, el constante aumento de las solicitaciones debidas al mayor número de cargas por eje, a la mayor presión de inflado, a las mayores cargas por eje, a las mayores velocidades, etc. hace que se requiera para la elaboración de mezclas asfálticas, un ligante con mejores propiedades ecológicas y mecánicas.

La modificación del asfalto con la incorporación de polímero da por resultados ligantes con extraordinarias características de elasticidad, adherencia y cohesión a un costo competitivo.

### **2.5.1. Objetivo de la modificación.**

Al modificar un asfalto el diseñador puede intervenir sobre las características mecánicas de este, entre otras se pueden mencionar la reducción de la susceptibilidad térmica, en la búsqueda de unas características ecológicas constantes, especialmente a elevadas temperaturas de servicio. En consecuencia esto implica modificar las propiedades de las mezclas, en el sentido de disminuir tanto la deformación plástica a alta temperatura, como

---

<sup>13</sup>Ingeniería de pavimentos para carreteras (Ing. Alfonso Montejó Fonseca , 2002)

la rigidez a baja temperatura, ofreciendo un mejor comportamiento en servicio ante la acción de las cargas circulares más pesadas del tránsito, independientemente de las condiciones climáticas imperantes.

Un asfalto real, común, presenta un cambio continuo de sus características en todo el rango de temperatura de operación. El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperatura de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de mezcla y compactación.

### **2.5.2. Beneficios que se buscan con la modificación del asfalto.**

Los principales beneficios que se persiguen con la modificación del asfalto:

- Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
- Aumentar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.
- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales.
- Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.

Existe una variedad de aditivos que pueden ser exitosos en la mejora de cuanto menos una de las propiedades del asfalto, pero, es necesario tener en cuenta que no existe un aditivo que mejore todas las propiedades antes descritas.

## **2.6. POLIMEROS.**

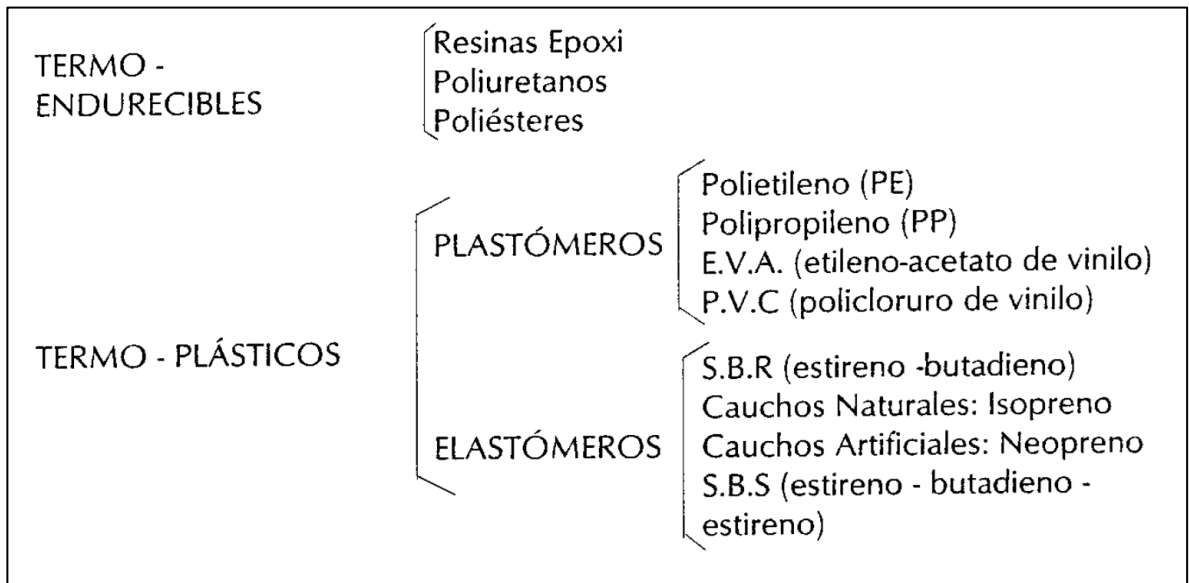
### **2.6.1. Definición**

Los polímeros son sustancias formadas por la unión, de cientos o miles de moléculas pequeñas, llamadas monómeros. La gran diversidad de materiales poliméricos hace que su

clasificación y sistematización sea difícil; pero atendiendo a su estructuración y propiedades, ver figura # 2.5.

### 2.6.2. Clasificación de polímeros.

**FIGURA # 2. 5 Clasificación de polímeros**



**Fuente:**Ingeniería de pavimentos para carreteras (Ing Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

## 2.7. TRAMO DE ESTUDIO

### 2.7.1. Ubicación geográfica.

Comasagua es un municipio Ubicado en la Cordillera del Bálsamo, del departamento de La Libertad ubicado a 29.4 Km de San Salvador, de acuerdo al censo oficial de población y vivienda 2013, tiene una población de 12, 839 habitantes; el municipio cubre un área de 75,05 km<sup>2</sup> de los cuales, 0.30 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana y 74.75 km<sup>2</sup> corresponden al área rural; la cabecera tiene una altitud de 1,070 msnm. Esta villa se encuentra limitada al Norte por Talnique y Nueva San Salvador; al Este por Nueva San Salvador, al Sur por La Libertad y al Oeste por Talnique, las coordenadas geográficas siguientes:

13° 40'35" LN. (Extremo septentrional)

y 13° 31' 26" LN. (Extremo meridional);



89° 19' 46" LWG. (Extremo oriental) y

89° 24' 38" (extremo occidental).

### **2.7.2. Localización del tramo de estudio.**

La ubicación del tramo de estudio se encuentra entre los municipios de Comasagua y Talnique. Este tramo fue seleccionado, ya que en él se aplicó un doble tratamiento superficial hace aproximadamente un año, en el cual se realizó la visita de inspección visual para evaluar las condiciones en las que se encuentra después de prestar servicialidad.

El tramo inicia en la entrada al municipio de Comasagua y termina en el desvío hacia el Municipio de Talnique a una altura aproximadamente de 1200 msnm.

### **2.7.3. Estado actual del tramo de estudio.**

Según la inspección realizada al tramo de estudio se observó lo siguiente:

El primer fenómeno que se observó fue el derrame que se dio de emulsión con partículas de agregado en las cunetas cuando se aplicó el tratamiento, el cual se pudo observar, que el agregado con emulsión se adherido a la cuneta lo cual indica la gran capacidad de adherencia entre emulsión-agregado y superficie (ver figura #2.6).

**FIGURA # 2. 6 Emulsión y agregado derramado en cuneta**



**Fuente:** Visita de campo a tramo de carretera L-5w, que conduce hacia Comasagua.

**FIGURA # 2. 7 Condiciones actuales de la superficie de la carretera.**



**Fuente:**Visita de campo a tramo de carretera L-5w, que conduce hacia Comasagua.

**FIGURA # 2. 8 Condiciones actuales de la superficie de la carretera.**



**Fuente:**Visita de campo a tramo de carretera L-5w, que conduce hacia Comasagua

La evaluación que se le da al tramo en estudio es que todavía está en excelentes condiciones de servicio, la técnica aplicada ha sido un doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada (ver figura #2.7 y #2.8).

**CAPITULO III**

**ENSAYOS PREVIOS AL DISEÑO  
DEL DOBLE TRATAMIENTO Y  
DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO  
SUPERFICIAL CON EMULSION  
MODIFICADA.**

### **3.1 ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS.**

#### **3.1.1 Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. (ASTM C131)**

##### **A. Equipo**

A.1 Horno.

A.2 Balanza.

A.3 Máquina de los Angeles.

A.4 Tamices.

A.5 Esferas.

##### **B. Procedimiento.**

B.1 Lavar la muestra reducida y secar al horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  F) hasta obtener una masa sustancialmente constante, separar en fracciones de tamaño individuales. Registrar la masa de la muestra antes de la prueba con una precisión de 1 g.

B.2 Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina Los ángeles y girar la máquina a una velocidad de 30 a 33 r/min durante 500 vueltas. Después de que sea alcanzado el número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y hacer una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No.12). Tamizar la porción más fina en un tamiz de 1.70 mm (No. 12) de una manera descrita conforme a la norma ASTM C136.

B.3 Lave el material más grueso que el de 1.70 mm (No. 12) y el tamiz de secado en horno a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  F) hasta obtener una masa sustancialmente constante y determinar la masa con una precisión de 1 g.

Si el agregado está esencialmente libre de recubrimientos adherentes y de polvo, el requisito para el lavado después de la prueba es opcional. Sin embargo, en el caso de las pruebas de arbitraje, el procedimiento de lavado se llevará a cabo.

Nota: La información valiosa relativa a la uniformidad de la muestra bajo prueba se puede obtener mediante la determinación de la pérdida después de 100 revoluciones. La pérdida debe ser determinada por tamizado en seco en el tamiz 1.70 mm sin lavar. La relación de la pérdida después de 100 revoluciones a la pérdida después de 500 revoluciones no debe exceder en gran medida 0.20 para el material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado para evitar pérdida de cualquier parte de la muestra; volver toda la muestra, incluyendo el polvo de fractura, a la máquina de ensayo para los últimos 400 revoluciones necesarias para completar la prueba.

**TABLA # 3. 1 Muestra de ensayo y carga en la máquina de Los Angeles.**

Grado		Numero de esferas	Masa de carga, g			
A		12	5000 ± 25			
B		11	4584 ± 25			
C		8	3330 ± 20			
D		6	2500 ± 15			
Tamaño de tamiz		Masa de tamaños indicados, g				
Paso	Retenido en	Calificaciones				
		A	B	C	D	
37.5 mm (1 ½ in.)	25.0 mm (1 in.)	1 250 ± 25				
25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	1 250 ± 25				
19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10			
12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10			
9.5 mm (⅜ in.)	6.3 mm (¼ in.)			2 500 ± 10		
6.3 mm (¼ in.)	4.75-mm (No. 4)			2 500 ± 10		
4.45-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)				5 000 ± 10	
<b>Total</b>		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	

**Fuente:** Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. (ASTM C131)

Nota: Eliminación de lavado después de la prueba rara vez se reducirá la pérdida medida en más de aproximadamente 0.2% de la masa original de la muestra (ver tabla #3.1)

**Ver resultados en anexo # 1 y 2.**

### **3.1.2 Método de prueba estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. (ASTM C 127)**

#### **A. Equipo**

A.1 Balanza

A.2 Recipiente de muestra

A.3 Tanque con agua.

A.4 Tamices

A.5 Horno

#### **B. Procedimiento.**

B.1 Eliminar por tamizado las partículas inferiores a 4.75 mm o tamiz #4.

B.2 Lavar la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.

B.3 Secar la muestra hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5$  °C.

B.4 Enfriar la muestra al aire a temperatura ambiente por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.

B.5 Sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.

B.6 Pesar la muestra de ensayo de las siguientes maneras.

B.6.1 Pesada al aire ambiente del agregado saturado superficialmente seco.

B.6.1.1 Retirar la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Secar individualmente las partículas mayores manteniendo el agregado, ya seco

superficialmente, cubierto por unpaño húmedo hasta el momento de pesar. Efectuar toda la operación en el menor tiempo posible.

B.6.1.2 Determinar inmediatamente la masa del agregado saturado superficialmente seco, pesándolo al aire a temperatura ambiente, aproximando a 1 g. registre su valor como SSS.

B.6.2 Pesada sumergida.

B.6.2.1 Colocar la muestra inmediatamente en el recipiente de muestra.

B.6.2.2 Sumergir el recipiente en agua a  $20 \pm 3$  °C, por un periodo de al menos 3 minutos.

B.6.2.3 Determinar la masa sumergida, aproximando a 1 gramo. Registre su valor como SSD<sup>14</sup>.

B.6.3 Pesada al aire ambiente del agregado seco.

B.6.3.1 Retirar la muestra del recipiente y vaciarla completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas en el mismo.

B.6.3.2 Secar la muestra hasta obtener una masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

B.6.3.3 Enfriar la muestra hasta que se encuentre a temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.

B.6.3.4 Determinar la masa de la muestra seca, pesándola al aire ambiente, aproximando a 1 gramo.

**Ver resultados en anexos 3 y 4.**

---

<sup>14</sup> SSD, término en inglés que se refiere al peso aparente del agregado saturado sumergido en agua.

### **3.1.3 Método de prueba estándar para densidad aparente (peso unitario) y vacíos en el agregado. (ASTM C 29).**

#### **A. Equipo**

A.1 Balanza.

A.2 Varilla de apisonamiento.

A.3 Molde cilíndrico metálico.

A.4 Pala o cuchara.

A.5 Trozo de vidrio.

#### **B. Procedimiento.**

B.1 Seleccionar el procedimiento a utilizar

B.1.1 Suelto

B.1.2 Varillado

B.1.3 Golpeado

B.2 Anotar el tamaño nominal de la muestra.

B.3 Pesar el molde (g).

B.4 Anotar las dimensiones del molde (cm).

B.5 Colocar la muestra dentro del molde según procedimiento seleccionado:

B.5.1 Suelto: Llenar el molde por medio de una pala o cuchara, no realizando la descarga del agregado desde una altura superior a las 2 pulg por encima de la parte superior del molde. Tener el cuidado de evitar la segregación de los agregados. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o con una regla de tal manera que cualquier saliente de las partículas del agregado ocupe los espacios vacíos por debajo de la superficie de la parte superior del molde.

B.5.2 Varillado: Llenar el molde a un tercio de su capacidad. Sobre la capa de agregado proporcionar 25 golpes con la varilla de apisonamiento, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Llenar la medida a dos tercios del nivel completo y repetir el procedimiento con la varilla de apisonamiento. Por último, llene hasta rebosar la medida y repita el



procedimiento con la varilla de nuevo de la manera mencionada anteriormente. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o con una regla, de tal manera cualquier saliente de las partículas del agregado ocupe los espacios vacíos por debajo de la superficie de la parte superior del molde.

B.5.3 Golpeo: Llenar el molde cilíndrico metálico a un tercio de su capacidad, elevar los lados opuestos alternativamente alrededor de 2 pulgadas (50 mm), y permitir la caída de tal manera que se tenga un fuerte golpe. Las partículas de agregado, de este procedimiento, se organizarán en una condición densamente compactada. Llenar el molde a dos tercios del nivel completo y repetir el procedimiento de caída. Por último, llene hasta rebosar la medida y repita el procedimiento de la manera mencionada anteriormente. Compactar cada capa dejando caer el molde 50 veces de la manera descrita, 25 veces en cada lado. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o con una regla, de tal manera cualquier saliente de las partículas del agregado ocupe los espacios vacíos por debajo de la superficie de la parte superior del molde.

B.6 Tomar el peso del molde más la muestra del agregado.

**Ver resultados anexos 5, 6, 7 y 8.**

**3.1.4 Método de prueba estándar para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos y método de prueba estándar para los materiales más finos que 75 micras (No. 200) de los agregados minerales por lavado. (ASTM C 136 y ASTM C 117).**

**A. Equipo**

A.1 Balanza.

A.2 Tamices.

A.3 Recipiente contenedor para lavado de muestra de ensayo.

A.5 Horno eléctrico con capacidad para 110 °C.

A.6 Guantes de asbesto, espátula, brocha.

## **B. Procedimiento.**

B.1 La muestra de ensayo deberá estar seca, para lo cual se requiere que la porción del material de donde será obtenida ésta, se seque al horno hasta obtener un peso constante, por un periodo de 18 a 24 horas, a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C.

B.2 Transcurrido este tiempo, se deja enfriar a temperatura ambiente y luego se cuartea esta porción. Registrar este peso.

B.3 Obtenida la muestra de ensayo, se deposita en el recipiente contenedor para lavado, se agrega agua potable dentro de este recipiente y se remueve manualmente el agregado para facilitar el desprendimiento del fino.

B.4 Se decanta el recipiente sobre la malla N° 200 de tal forma que el agua enturbiada por los finos desprendidos pase a través de esta. Agregar más agua dentro del recipiente y volver a remover el agregado para lograr nuevamente que los finos se pongan en suspensión. Si en la malla se ha retenido mucho material, se procede a lavar únicamente este, agregando agua directamente sobre dicho material.

B.5 Luego se pesa para obtener el peso perdido por lavado, después se seca la muestra dejándola en el horno por un periodo de 18 a 24 horas a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C.

B.6 Cuando se tiene seco el material, se colocan diferentes tamices con su respectivo fondo, por los cuales se hacen pasar la muestra y obtener el peso retenido en cada malla.

**Ver resultados anexos 9,10, 11 Y 12.**

### **3.2 Ensayos para caracterizar emulsión CRS – 2PE**

(Emulsión catiónica de rompimiento rápido de alta viscosidad, modificada con polímero-plastomero).

### **3.2.1 Método de prueba estándar para la viscosidad de la emulsión asfáltica por viscosímetro SayboltFurool(SSF) A 50°C. (ASTM D244).**

Las determinaciones se realizan a 25°C o 50°C (77 o 122°F), pudiendo emplearse el viscosímetro, aún en el caso en que el tiempo empleado para fluir, sea menor de 20 segundos.

#### **A. Equipo**

A.1. Viscosímetro.

A.2. Tamiz de 850 mm (No. 20).

A.3. Bañera.

A.4. Cronómetro

A.5. Beaker de 120 ml.

A.6. Pipeta

#### **B. Procedimiento**

Vierta la muestra de emulsión asfáltica en el beaker de 120 ml. Coloque el beaker en un baño de maría, mantenido la temperatura de la emulsión a  $51.4 \pm 0.3$  ° C ( $124.5 \pm 0.5$  F) durante 30 minutos. Retire el beaker del baño maría, y mezclar la muestra mediante la inversión del beaker varias veces lentamente lo suficiente para evitar la formación de burbujas.

Verter la muestra en el viscosímetro a través del tamiz de 850 mm o colador de malla 20 hasta que esté por encima del borde de rebose. Se agita la emulsión asfáltica en el viscosímetro a 60 revoluciones por minuto con el dispositivo termométrico, evitando la formación de burbujas.

Ajustar la temperatura del baño maría, hasta que la temperatura del asfalto emulsionado se mantenga constante durante 1 minuto a  $50 \pm 0.1$  °C ( $122 \pm 0.2$ ). Retirar el dispositivo

termométrico. Quite rápidamente el exceso de emulsión asfáltica de la galería con una aspiración de pipeta. Tomar nota de los resultados al segundo más cercano.

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.2 Método de prueba estándar para la liquidación y estabilidad de almacenamiento de la emulsión asfáltica. (ASTM D 6930).**

#### **A. Equipo**

A.1. Cilindro de capacidad 500 ml de vidrio.

A.2. Pipeta de vidrio de 50 ml.

A.3. Balanza. Capacidad 1000 g de precisión 0.1 g.

A.4. 2 Vasos de capacidad 1000 ml.

A.5. Agitador.

A.6. Horno. Capacidad de  $163 \pm 3$  °C.

#### **B. Procedimiento**

B.1 Llevar la emulsión asfáltica a temperatura ambiente, 22 °C a 28 °C. Coloque una muestra de 500 ml de representación en el cilindro de cristal. Tapar la probeta y dejar que repose a temperatura de aire de laboratorio 22°C a 28 °C, durante 24 hr para la estabilidad de almacenamiento o 5 días para la prueba de la liquidación. Después de reposar durante este período, eliminar aproximadamente 55 ml de emulsión asfáltica desde la parte superior del cilindro por medio de la pipeta o sifón sin perturbar el resto de la muestra. Agite la parte de 55 ml.

B.2 Pesar  $50.0 \pm 0.1$  g de emulsión en un vaso de 1000 ml. incluir varilla de vidrio en el vaso al pesarlo.

B.3 Después de la separación de la parte superior, desviar 390 ml (aproximadamente) desde el cilindro. Agite la emulsión asfáltica que queda en el vaso con una varilla de vidrio.

B.4 Ajuste de la temperatura del horno a  $163 \pm 3$  °C y colocar el vaso y cilindro que contienen las varillas y la muestra en el horno durante 2 hr. Al final de este período, retire el vaso y cilindro revuelva bien el residuo. Vuelva a colocar en el horno durante 1 hr. Después de quitar los recipientes del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente, y pesar.

C. Cálculo e informe.

C.1 Se calcula la estabilidad durante el almacenamiento o la liquidación del cilindro de la siguiente manera: Estabilidad durante el almacenamiento, % DE SEDIMENTACION EN 5 DIAS=(% R.A. (FONDO) - % R.A (TOP))

$$Y \text{ \% R.A.} = 1 - ((B - C) / (3 - A))$$

En donde:

% R=PORCENTAJE DE RESIDUO

A=PESO BEAKER+ AGITADOR DE VIDRIO

B=PESO BEAKER+ AGITADOR + EMULSION

C=PESO BEAKER + AGITADOR +RESIDUO

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.3 Práctica estándar para la identificación de la emulsión asfáltica catiónica (ASTM D 7402)**

El ensayo está basado en la diferente carga eléctrica, negativa o positiva, que poseen las partículas bituminosas en las emulsiones aniónicas o catiónicas, y consiste en introducir en la emulsión una pareja de electrodos unidos a una fuente de alimentación de corriente continua, observando, al cabo de un tiempo, en que electrodo se ha depositado la película de ligante (ver Figura #3.1 Esquema de ensayo de carga eléctrica de una emulsión.)

A. Equipo

A.1. Fuente de corriente continúa de 12 V.

A.2. Electrodo: dos placas de acero inoxidable, de 25 mm de ancho y 101.6 mm de largo.

A.3. Vasos de vidrio de 150 ó 250 cm<sup>3</sup> de capacidad.

A.4. Cronómetro.

B. Procedimiento.

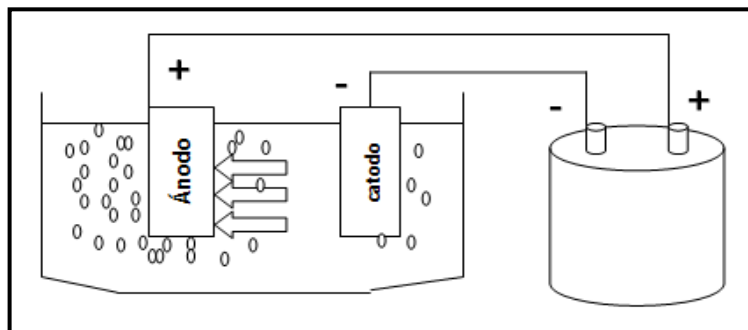
B.1. La muestra de emulsión se vierte en un vaso de vidrio en cantidad tal que permita sumergir 25mm los electrodos dentro de ella.

B.2. Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25 mm.

B.3. Se conectan los electrodos a la fuente de alimentación y se ajusta la intensidad de la corriente, mediante la resistencia variable, hasta unos 8  $\mu$ A. poniendo en marcha al mismo tiempo el cronometro.

B.4. Cuando la intensidad de la corriente baje a 2  $\mu$ A. o hayan transcurrido 30 minutos, se desconecta la corriente, desmontar los electrodos y se lava con agua.

**FIGURA # 3. 1 Esquema de ensayo de carga eléctrica de una emulsión.**



**Fuente:**Práctica estándar para la identificación de la emulsión asfáltica catiónica. (ASTM D 7402)

B.5. Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos; una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo (electrodo negativo), mientras que

el ánodo (electrodo positivo), permanecerá limpio. Por el contrario, en una emulsión aniónica el depósito aparecerá en el ánodo, permaneciendo el cátodo limpio.

#### C. Informe

C.1 El resultado expresará que la carga de la partícula es "positiva", si la película de ligante se deposita en el cátodo, y "negativa", si se deposita en el ánodo.

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.4 Método de prueba estándar para las partículas de gran tamaño en la emulsión asfáltica (prueba de tamiz %). (ASTM D 6993)**

#### A. Equipo

A.1. Tamiz de 850  $\mu\text{m}$

A.2. Batea o cazuela.

A.3. Termómetro.

A.4. Solución Agente tensioactivo no iónico (1%) -1 g de no iónico tensioactivo disuelto en agua destilada y diluido en 100 ml.

A.5. Agua destilada o des-ionizada

A.6. Balanza, capacidad de 2000 g  $\pm$  1 g y 500 g  $\pm$  0.1 g.

A.7. Horno capaz de mantener una temperatura de 110  $\pm$  5 ° C.

A.8. Desecador.

#### **B. Procedimiento**

B.1 La temperatura a la que se realizará la prueba de tamiz se relaciona con la viscosidad de la emulsión asfáltica. Para aquellos materiales cuya viscosidad SayboltFurol en segundos según lo determinado por el método de prueba D244 es 100 s o menos en 25 °C y aquellos cuya viscosidad se especifica a 50 ° C, utilice una temperatura de ensayo de 50  $\pm$  3 °C.

B.2 Determinar el peso del tamiz y la bandeja con una precisión de 0.1 g y grabar esta masa como "A". Humedezca la tela metálica con una solución de tensio-activo no iónico.

B.3 Determinar la masa del recipiente de la muestra que contiene la emulsiones asfálticas a 0.1 g. Anote esta masa como "C". Derramar 800 a 1000 g de la emulsión asfáltica a través del tamiz (si el recipiente de muestra contiene 800-1000 g de la muestra, se vierte todo el contenido). Determinar la masa del recipiente de la muestra que contiene la emulsión asfáltica previamente a 0.1 g. Registre esta masa como "D". Lavar el residuo en el tamiz con agua destilada agua o agua des-ionizada hasta que los lavados sean transparentes.

B.4 Colocar el recipiente debajo de la criba y calentar durante 2 h en el horno de secado a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Dejar enfriar en un desecador. Determinar la masa del tamiz, cazuela, y al resto de los 0.1 g más cercanos. Anotar esa masa como "B".

### **C. Cálculo**

C.1 Se calcula el porcentaje de la muestra retenida en el tamiz como sigue:

Las partículas de gran tamaño, % =  $[(B - A) / (C - D)] * 100$  .

Dónde:

A = masa del tamiz y cazuela, g,

B = masa del tamiz, cazuela, y el residuo,

C = masa del recipiente de la muestra completa, g, y

D = masa del recipiente vacío, g.

### **D. Informe**

D.1 Indique el porcentaje en masa de materia retenida en el tamiz (residuo).

**Ver resultados en anexos # 14.**



**3.2.5 Método de prueba estándar para destilación de la emulsión asfáltica (determinación cuantitativa de porcentaje de residuos). (ASTM D6997)**

**A. Equipo.**

A.1. La destiladora de aleación de aluminio.

A.2. Junta de sello.

A.3. Fuentes de calor.

A.4. Aparato de conexión que consta de aproximadamente 12 mm de vidrio o tubo de conexión de metal.

A.5. Cilindro graduado de 100 ml, con intervalos de graduación de 1.0 ml.

A.6. Termómetro.

A.7. Balanza capaz de pesar 3500 g y con una precisión de  $\pm 0.1$  g.

A.8. Tapones de corcho.

A.9. Tubos resistentes al calor tubo de goma.

A.10. Tamiz de 300 micras.

**B. Acondicionado para las pruebas.**

B.1 Las emulsiones asfálticas se agitan bien para lograr homogeneidad antes del ensayo.

B.2 Las emulsiones asfálticas con los requisitos de prueba de viscosidad de 50 ° C se calientan a  $50 \pm 3$  ° C en el recipiente de la muestra original en un baño de agua o en el horno. El recipiente debe ser ventilado para aliviar la presión. Después que la muestra alcanza  $50 \pm 3$  ° C, se agita la muestra para lograr homogeneidad.

B.3 Las emulsiones asfálticas con los requisitos de prueba de viscosidad de 25 °C se deben acondicionar a  $25 \pm 3$  ° C en el envase original de la muestra para lograr homogeneidad.

Después de que la muestra alcanza  $25 \pm 3$  ° C, se agita la muestra para lograr homogeneidad.

B.4 Las emulsiones asfálticas presentados para probar desde un tanque de almacenamiento pueden ser probados en la temperatura del depósito. No se requiere acondicionado como en B.2 y B.3.

### **C. Procedimiento.**

C.1 Determinar la masa de la destiladora de aleación de aluminio.

C.2 Añadir  $200 \pm 1.0$  g de una muestra representativa de la emulsión asfáltica. Anote esta masa.

C.3 Sujetar firmemente la tapa de la destiladora. Si se utiliza una junta insertar entre la destiladora y la cubierta la tapa antes de sujetarla.

C.4 Insertar el dispositivo de medición de la temperatura primero a través de un tapón de corcho o de silicona, y luego uno de los pequeños orificios de la cubierta.

C.5 Colocar el quemador de anillo alrededor de la destiladora de aproximadamente de 150 mm de la parte inferior de la destiladora. Aplique calor al encender este quemador y el ajuste a fuego lento.

C.6 Cuando la temperatura alcanza aproximadamente 215 °C, mover el quemador de anillo aproximadamente a nivel con la parte inferior de la destiladora. Aumentar la temperatura a  $260 \pm 5$  °C, manteniéndola a esta temperatura durante 15 min. Completar la destilación total  $60 \pm 15$  minutos de la primera aplicación de calor.

C.7 Inmediatamente después de la expiración del período de calentamiento, apague la llama y de nuevo pese la destiladora y accesorios según se describe en C.1. La destiladora de aleación de aluminio a temperatura ambiente (C.1) pese 1.5 g a más de 260 ° C. para corregir este error mediante la adición de 1.5 g de peso bruto obtenido antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación. Calcular por D.1 y reportar el residuo en porcentaje

por destilación. Registrar el volumen de aceite destilado de 0.5 ml. Calcular por D.2 y reportar el aceite destilado como un porcentaje en volumen de la emulsión asfáltica total basado en el peso de la muestra cómo se registra en C.2.

C.8 Remover el contenido de la destiladora agitando suavemente el residuo.

Esto se puede hacer usando un movimiento de torbellino o agitación con una larga varilla de vidrio o de acero para obtener un material consistente antes de verter. Retire la tapa del destilador y verter inmediatamente porciones adecuadas de los residuos en un contenedor o moldes necesarios para el análisis de residuos. Si hay materia extraña se desconfía del residuo, se vierte el material a través de un tamiz antes de verter en los moldes de ensayo y el recipiente.

#### **D. Cálculo.**

D.1 Calcular el porcentaje de residuos en la muestra siguiente:

$$\text{Agua \%} = [(\text{ME}-\text{MR}) / (\text{ME}-\text{TR})] * 100$$

$$\% \text{RA} = 100 - \text{agua \%}$$

Dónde:

RA = Porcentaje de residuos

R = Residuo

TR = peso de alambique

ME = peso de alambique + emulsión

MR = peso alambique + residuo

D.2 Calcular el % del destilado de petróleo de la siguiente manera:

Destilado de Petróleo, % = (Volumen de aceite registrado en 0.5 ml / peso de la muestra más cercana)\*100. Registre el % de aceite destilado con precisión de 0.1%.

E. Informe.

E.1 Indique el porcentaje de residuos en la muestra y el porcentaje de destilado de aceite.

**Ver resultados en anexos # 14.**

**3.2.6 Método de prueba estándar para la penetración de materiales asfálticos.  
(ASTM D5)**

**A. Equipo.**

A.1. Aparato de penetración.

A.2. Aguja.

A.3. Contenedor de muestra: Se utilizará un envase cilíndrico de fondo plano, de metal o vidrio, con las siguientes.

A.4. Bañera. Un baño capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 0.1$  °C ( $77 \pm 0.2$  F) o cualquier otra temperatura de prueba de 0.1 °C.

A.5. Plato de transferencia. Cuando se utiliza, el plato de transferencia deberá tener una capacidad de al menos 350 ml.

A.6. Dispositivo de sincronización. Temporizador eléctrico, u otro dispositivo, siempre que se gradué en 0.1 s o menos y tenga una precisión de  $\pm 0.1$  s durante un intervalo de 60 s.

A.7. Termómetros. Máxima escala de error de 0.1 °C (0.2 °F).

A.7.1. Los termómetros adecuados comúnmente usados son:

Número ASTM	Alcance
17°C o 17°F	19 a 27 °C (66 a 80 °F)
63°C o 63°F	-8 a +32 °C (18 y 89° F)
64°C o 64°F	25 a 55 °C (77 a 131° F)

A.8. Solvente.

A.9. Paño limpio.

**B.Preparación de la probeta.**

B.1 Si la muestra no es lo suficientemente fluida como se recibió, se calienta la muestra con cuidado, revolviendo siempre que sea posible para evitar un sobre calentamiento local, hasta que se ha convertido en lo suficientemente fluida para verter. Revuelva para garantizar que la muestra es homogénea. Evite la incorporación de burbujas en la muestra.

B.2 Verter la muestra en el recipiente de ensayo a una profundidad de tal manera que, cuando se enfría a la temperatura de prueba, la profundidad de la muestra sea al menos 120% de la profundidad a la que se espera que la aguja penetre (ver tabla #3.2). Vierta porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo. Si el recipiente de la muestra es al menos de 65 mm de diámetro y la penetración esperada es mayor que 200 mm, vierta tres porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.

**TABLA # 3. 2Método de prueba estándar para la penetración de materiales bituminosos.**

<b>Para penetraciones por debajo de 40 mm.</b>	
Diámetro mm	33 a 50
Profundidad interna mm	8 a 16
<b>Para penetraciones por debajo de 200 mm.</b>	
Diámetro mm	55
Profundidad interna mm	35
<b>Para penetraciones entre 200 y 350 mm.</b>	
Diámetro mm	55 a 75
Profundidad interna mm	45 a 70
<b>Para penetraciones entre 350 y 500 mm</b>	
Diámetro mm	55
Profundidad interna mm	70

**Fuente:** Método de prueba para la penetración de materiales asfálticos. (ASTM D5).

**TABLA # 3. 3 Condiciones para pruebas especiales.**

<b>Temperatura, ° C (°F)</b>	<b>Cargar, g</b>	<b>Tiempo, s</b>
<b>0 (32)</b>	200	60
<b>4 (39.2)</b>	200	60
<b>45 (113)</b>	50	5
<b>46.1 (115)</b>	50	5

**Fuente:** Método de prueba estándar para la penetración de materiales asfálticos (ASTM D5).

B.3 Dejar enfriar al aire a una temperatura de entre 15 y 30 °C durante un intervalo de 45 min a 1.5 hr para un contenedor pequeño (33 \* 16 mm o menos), 1 a 1.5 hr para el medio (55 \* 35 mm) de contenedores y de 1.5 a 2 hr para recipientes más grandes. A continuación, coloque las muestras junto con el plato de transferencia, si se utiliza, en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensayo prescrito. Deje que el recipiente pequeño (33 \* 16 mm o menos) permanecer durante 45 minutos a 1.5 hr, el medio (55 \* 35 mm) contenedor de permanecer durante 1 a 1.5 hr y los recipientes más grandes para permanecer por 1.5 a 2hr.

#### **C. Acondicionado para la prueba.**

C.1 Cuando las condiciones de prueba no son específicamente las mencionadas, la temperatura, la carga, y el tiempo se entiende que son 25 °C (77 F), 100 g, y 5 s, respectivamente. Otras condiciones pueden ser utilizadas para pruebas especiales, como se muestra en la tabla # 3.3.

#### **D. Procedimiento.**

D.1 Examine el soporte de la aguja y la guía para establecer la ausencia de agua y otros materiales extraños. Si se espera una penetración superior a 350 mm hacer uso de una aguja larga, de lo contrario utilizar una aguja corta. Limpiar la aguja de penetración con solvente,

secar con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique lo contrario, el peso de 50 g por encima de la aguja, por lo que el peso total de  $100 \pm 0.1$  g.

D.2 Si las pruebas se harán con el penetrómetro en el baño, colocar el recipiente de la muestra directamente en el soporte sumergido del penetrómetro. Mantenga el recipiente de la muestra completamente cubierta con agua en el baño. Si las pruebas se realizan con el penetrómetro fuera del baño, coloque el recipiente con la muestra en el plato de transferencia, cubrir el recipiente con agua completamente desde el baño a temperatura constante y coloque la bandeja de transferencia en el pie del penetrómetro.

D.3 Uso del indicador de nivel, asegúrese de que el aparato está nivel.

D.4 Tomar nota de la lectura del dial del penetrómetro o traer el puntero a cero. Coloque la aguja lentamente bajarla hasta que su punta sólo haga contacto con la superficie de la muestra. Si el recipiente se mueve, ignorar el resultado.

D.5 Hacer al menos tres determinaciones en puntos de la superficie de la muestra no menos de 10 mm desde el lado del recipiente y no menos de 10 mm entre sí. Si el recipiente de transferencia se utiliza nuevamente, reintroducir la muestra y transferir el recipiente al constante baño de maría y secarlo. Utilice una aguja para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200 mm, utilizar por lo menos tres agujas dejándolos en la muestra hasta que las tres determinaciones se han completado. Si la muestra recipiente es menos de 65 mm de diámetro y la esperada la penetración es mayor que 200 mm, hacer una penetración en cada uno de los tres contenedores diferentes.

### **E. Informe.**

E.1 Informe a la unidad entera más cercana a la media de las tres penetraciones cuyos valores no difieren en más (ver tabla #3.4).

**TABLA # 3. 4 Rangos de la unidad entera más cercana.(mm)**

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
-------------	--------	----------	-----------	-----------

Diferencia máxima entre más alto y la penetración más baja	2	4	12	20
---	---	---	----	----

**Fuente:** Método de prueba estándar para la penetración de materiales asfálticos (ASTM D5).

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.7 Método de prueba estándar para la ductilidad de los materiales asfálticos(ASTM D113).**

#### **A. Equipo**

A.1. Molde

A.2. Bañera. El volumen de agua será no menos de 10 lt, y la muestra se sumergirá en una profundidad de no menos de 10 cm.

A.3. Máquina de prueba - Para tirar de la briqueta de materiales bituminosos.

A.4. Clips separadores.

A.5. Termómetro.

Rango de temperatura                      Termómetro.

-8 a 32 °C                                      63 °C

#### **B. Procedimiento.**

B.1 Montar el molde sobre una placa de bronce. Con una fina capa de una mezcla de glicerina y dextrina, talco o caolín (arcilla de China) para evitar que el material bajo prueba se pegue. Cuidadosamente calentar la muestra para evitar el sobrecalentamiento local hasta que se ha convertido suficientemente fluida para verter. Colar la muestra fundida a través de un tamiz de 300 micras. Después de una minuciosa agitación, se vierte en el molde.

Deje que el molde que contiene el material en enfriamiento a temperatura ambiente durante un período de 30 a 40 minutos y luego se coloca en el baño de agua se mantiene a la



temperatura de ensayo especificado durante 30 min; a continuación, cortar el exceso de betún con cuchillo caliente de masilla de bordes rectos o espátula.

B.2 Mantener la pieza en el estándar de temperatura. Coloque la placa de bronce y el molde, con briqueta, en el baño de agua y mantenga a la temperatura especificada durante un periodo de 85 a 95 min. A continuación, retire la briqueta de la placa, retire las piezas laterales, y probar inmediatamente la briqueta.

B.3 Pruebas. Fije los anillos en cada extremo de los clips a los alfileres o ganchos en la máquina de ensayo y tire de los dos clips separados a una velocidad uniforme tal como se especifica hasta las rupturas de briquetas. La variación del 65% de la velocidad especificada será permitida.

Medir la distancia en centímetros a través del cual los clips se han retirado para producir la rotura. Mientras que la prueba se está haciendo, el agua en el tanque de la máquina de ensayo debe cubrir la muestra tanto por encima como por debajo de ella por lo menos 2.5 cm y se mantendrán continuamente a la temperatura especificada en 0.5 °C.

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.8 Método de prueba estándar para la determinación del punto de ablandamiento de los materiales asfálticos. (ASTM D 36)**

#### **A. Equipo.**

A.1 Dos anillos de latón cuadrado.

A.2 Una placa plana lisa de latón aproximadamente 50 por 75 mm (2 por 3 pulgadas).

A.3 Dos bolas de acero de 9.5 mm (3/8 de pulgada) de diámetro, cada uno que tiene una masa de  $3.50 \pm 0.05$  g.

A.4 Dos guías de latón para centrar las bolas de acero, uno para cada anillo, conforme a la forma y dimensiones que establece la norma.

A.5 Bañera de vidrio que pueda calentarse, no menos de 85 mm de diámetro interior y no menos de 120 mm de profundidad desde la parte inferior del quemador.

A.6 Soporte del Anillo y el conjunto de un soporte de latón diseñado para soportar los dos anillos en una posición horizontal. La parte inferior de los anillos en el soporte del anillo será de 25 mm (1.00 pulgada) por encima de la superficie de la placa inferior, y la superficie de la placa de fondo será de  $16 \pm 3$  mm ( $5/8 \pm 1/8$  pulgadas) desde el fondo de la bañera.

A.7 Termómetros de 30 a 200 ° C y - 2 a + 80 ° C.

A.7.1 Un termómetro, teniendo un rango de - 2 a + 80 ° C o 30 a 180 ° F, y conforme a los requisitos de 15°C o 15° F.

A.7.2 Un termómetro de bajo punto de ablandamiento, teniendo una gama de 30 a 200 ° C o 85 - 392 ° C, y que se ajuste a la requisitos para Termómetro 16°C ó 16°F.

A.7.3 El termómetro adecuado se suspenderá de modo que la parte inferior de la bombilla esté a nivel con la parte inferior de los anillos y dentro de 13 mm (0.5 pulgadas) de los anillos, no se debe tocar el soporte. La sustitución de otros termómetros no se permite.

**Ver resultados en anexos # 18.**

### **3.2.9 Método de Prueba Estándar para Residuo por Evaporación de la Emulsión Asfáltica. (ASTM D 6934)**

#### **A. Equipo.**

A.1 Vasos pequeños, capacidad de 1000 ml, de vidrio o de metal.

A.2 Varillas de vidrio con extremos pulidos en llama, de aproximadamente 6 mm de diámetro y aproximadamente 180 mm de longitud.

A.3 Balanza capaz de pesar 500 g con una precisión de 0.1 g.

A.4 Horno capaz de mantener una temperatura de  $163 \pm 3$  ° C.

A.5 Diámetro de tamiz de 300 micras de 76.2 mm.

#### **B. Procedimiento.**

B.1 Procedimiento A.

B.1.1 Usar procedimiento A cuando es requerido solo el porcentaje de residuo.

B.1.2 Pesar  $50 \pm 0.1$  gr. de asfalto emulsionado adecuadamente mezclado dentro de cada uno de los 3 recipientes, cada uno de los cuales pesado previamente con la varilla de vidrio. Situar los contenedores conteniendo las varillas y la muestra en la estufa, la temperatura del cual ha sido ajustada a  $163 \pm 2.8$  °C., por dos horas. Al final de este período remover cada contenedor y remover el residuo bastante. Volver a la estufa por 1 hora, remover, dejar enfriar hasta temperatura ambiente y pesar con las varillas.

Nota: Deberá tenerse mucho cuidado para prevenir pérdida de asfalto de los contenedores a través de espumado o salpicado o ambos. También, el situar los contenedores y muestras de emulsiones en una estufa fría tibia y llevar la estufa y la muestra hasta la temperatura de 163 °C., juntos es permisible. Si preferido una evaporación preliminar de agua puede ser efectuado por un cuidadoso calentamiento en una placa caliente, seguido de un tratamiento en estufa a 163 °C por una hora.

B.2 Procedimiento B.

B.2.1 Usar el procedimiento B cuando son requeridas pruebas sobre el residuo de la emulsión.

B.2.2 Proceder de acuerdo con B.1.2 usando cuatro muestras de  $50 \pm 0.1$  gr. Después del cálculo para porcentaje de residuo, reemplazarlos recipientes en la estufa hasta que el asfalto residual sea suficientemente fluido para pasar a través de un tamiz No. 50(300 mm.) (Generalmente se requieren 15 a 30 min.). Verter el residuo a través del tamiz N° 50 (300mm.) dentro de contenedores confeccionados para hacer pruebas de desecado.

### **C. Cálculo y reporte.**

C.1 Calcular el porcentaje de residuo de cada recipiente como sigue:

$$\%R.A. = 1 - ((B-C) / (B-A))$$

Dónde:

$$A = \text{peso del recipiente, gr.}$$

B = peso del recipiente + emulsión, gr.

C = peso del recipiente + residuo, gr.

C.2 Informar el porcentaje de residuo por evaporación como el promedio de los 3 resultados.

#### **D. Precisión y error.**

D.1 Los siguientes criterios se deben utilizar para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad):

D 1.1 Resultados duplicados por el mismo operador no deben considerarse sospechoso si no difieren en más de las siguientes cantidades:

**TABLA # 3. 5 Criterios de aceptabilidad de resultados.(Residuo por evaporación)**

Residuo por evaporación % en peso	Aceptabilidad % en peso
50 A 70	0.40

**Fuente:** Método de Prueba Estándar para Residuo por Evaporación de la Emulsión Asfáltica. (ASTM D 6934)

**Ver resultados en anexos # 14.**

### **3.2.10 METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL BARRIDO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION BITUMINOSA ASTM D 7000.**

Campo de Aplicación:

Mide las características del rendimiento del material bituminoso y agregado por simulación de tratamientos superficiales durante la operación de raspado.

#### **Equipo**

Mezclador: Se utilizar para la raspar la muestra

Base de montaje: Esta base debe ser un apoyo y un nivel adecuado para sujetar la muestra en su lugar. La muestra de ensayo no debe moverse durante la abrasión

Bandeja: esta será capaz de contener la muestra de la prueba en el mezclador y de contener el material agregado que se vuelque.

Horno: el acondicionamiento será con circulaciones de aire forzada con ventilación que cubra los requisitos de vacíos. Los estantes deberán ser colocados al menos con 12.5 cm de separación y 10 cm alejados del techo y del piso.

Balanza: será capaz de pesar 800 gr con una precisión de  $\pm 0.1$  gr. con una plataforma de apoyo de longitud y ancho mínimos de 250 milímetros  $\pm 10$  mm.

Sostenedor de cepillo extraíble. El titular del cepillo debe ser acoplable a la mesa de mezclas, que alcance una flota movimiento vertical libre de  $19 \pm 1$  mm que tienen las dimensiones que muestra la tabla.

**TABLA # 3. 6 Dimensiones de cepillo de nylon de gaza**

<b>Dimensiones del cabezal sostenedor del Cepillo</b>		
<b>Identificación</b>	<b>Nombre</b>	<b>Milímetros</b>
A	Diámetro del collar	36
B	Altura del collar	76
C	Longitud principal del cabezal	128
D	Altura total del cabezal	19
E	Altura del surco	17
F	Anchura del surco	18
H	Altura de la ranura	19
W	Anchura de la ranura	7

**Fuente:**Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D 7000

**TABLA # 3. 7 Criterios de aceptabilidad de resultados.(Prueba de Barrido)**

Recorte total	25.4 mm
Longitud total	127 $\pm$ 1mm
Copia de tamaño	#7

Material de relleno ondulado	De Nylon negro
Tipo Nylon	6.0
Rellene diámetro	0.254 mm
Wocho	35±2g

**Fuente:**Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D 7000.

Compactador para ensayo de barrido: Un dispositivo de compactación adecuado con un radio mínimo de superficie curva  $550 \pm 30$  mm y con un peso  $7,500 \pm 500$ g. Una imagen de este se puede ver en la figura#3.2.

**FIGURA # 3. 2 Compactador para ensayo de barrido.**



**Fuente:**Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión Bituminosa ASTM D 7000.

Plantilla Strike-Off (huelga de la plantilla): La plantilla debe consistir en una placa de metal de acero inoxidable plana. Incluirá un diámetro  $280 \pm 3$  mm cortar con un borde de color. A

16-gage Estándar EE.UU. (chapas y hojas de metal) es suficiente en la mayoría de los casos.

Strike-Off de Rod: La varilla 750 ± 100 mm se realizará de 17 a 20 mm de conductoeléctrico por golpear fuera de emulsión de la superficie de la plantilla.

**MATERIALES:**

Emulsiónbituminosa: La emulsión bituminosa debe cumplir con todas las especificaciones aplicables para la aplicación de tratamiento de superficies. La emulsiónbituminosa se equilibró a una temperatura de 60 ° C para la producción de la muestra

**TABLA # 3. 8 Criterios de aceptabilidad de resultados(Emulsión Bituminosa)**

BGS	100% 6.3-4.75 mm	50/50 Blend promedio	100% 9.5-6.3 mm
2.00	288 g	338 g	388 g
2.25	325 g	382 g	439 g
2.50	361 g	425 g	489 g
2.75	398 g	469 g	540 g
3.00	435 g	513 g	591 g

**Fuente:**Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D 7000.

Áridos o agregados: Los agregados de trabajo deben ser muestreadospor medio de cuarteos. Luego se colocan en un horno y se secan hasta obtener un peso constante. Los agregados se secan tamizan para obtener una muestra de ensayo que tenga100% que pasa el tamiz 9,5 mm y <1% que pasa el tamiz 4,75 mm. La cantidad de agregado utilizado para cada

muestra se hará de acuerdo a la siguiente ecuación. El importe total se interpola entre los valores cuando sea necesario, y con una tolerancia del  $\pm 1\%$ .

$$\frac{A(202.1X - 15.8)}{100} + \frac{B(146.4X - 4.7)}{100} = Y$$

Donde:

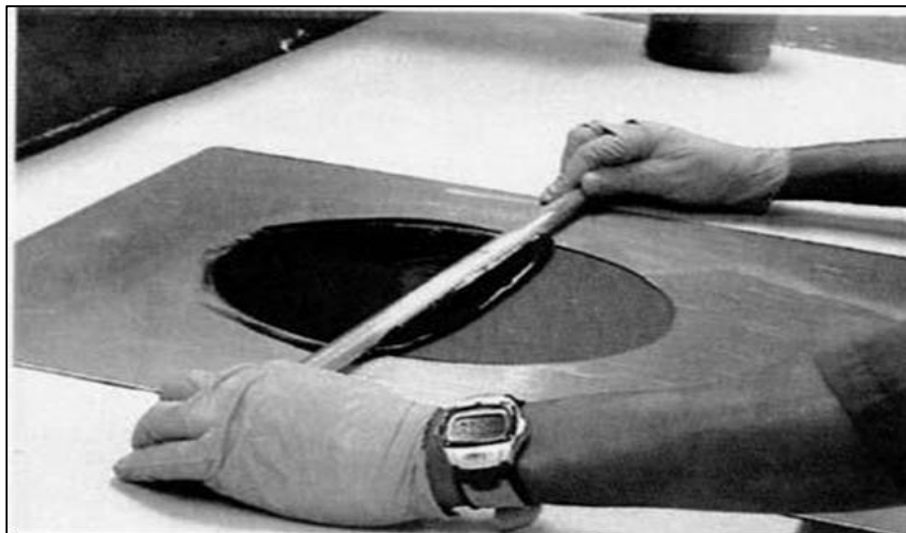
A = % de agregado 9,5-6,3 mm,

B = % de agregado 6,3-4,75 mm,

X = densidad aparente (BSG), y

Y = cantidad de agregado necesario para la prueba de barrido g.

**FIGURA # 3. 3 Molde para ensayo de barrido.**



**Fuente:** Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D 7000.

Los especímenes de prueba: Se pesa el disco metálico de fieltro de asfalto al 0.1 gr más cercano y se registra como "el peso del disco metálico de fieltro" se coloca el disco de fieltro de asfalto sobre una mesa plana. Manipular el disco de fieltro de modo que se apoye



sobre la superficie. Sustituya el disco si los bordes tienen dobleces, burbujas o si el disco contiene materias extrañas. Pre-sopesar el agregado y registrar como el peso agregado. Se aplica el riego en función del área a cubrir, con emulsión, a lo largo del arco superior del disco. El tiempo deseado de esta operación es de 3 más o menos 1 segundo. El recipiente utilizado para pesar el material bituminoso debe ser lubricado con asfalto, cubriendo sus costados y volcando lo que sobre, antes de tomar la tara del mismo. Una plantilla de enrasado se coloca sobre el disco de fieltro, centrando el agujero de la plantilla sobre el disco de fieltro.  $83 \pm 5$  g de emulsión bituminosa (tasa de aplicación de  $1,42 \text{ kg/m}^2$ ) en  $60^\circ \text{C}$  se vierte a lo largo del arco superior de la expuesta fieltro de disco.

Emulsión bituminosa en exceso se elimina con la varilla niveladora en un movimiento continuo suave de lado a lado. Esto deberá completarse dentro de un período de  $3 \pm 1$  s. El movimiento de huelga-off no debe suspenderse hasta que el exceso de materiales está fuera del disco de fieltro. La plantilla se elimina rápidamente. Una imagen de este procedimiento se puede ver en La figura siguiente.

Emulsión en la plantilla, luego aplique inmediatamente la muestra global de la emulsión bituminosa previamente pesada con un movimiento de un lado a otro. Una vez que el agregado se ha colocado en la muestra, compactar los agregados utilizando el barrido de prueba compactador de tres ciclos y medio en una dirección y tres ciclos y medio en la otra dirección perpendicular a la primera. Se debe tener cuidado de no aplicar ninguna fuerza hacia abajo manual adicional al compactador. Pesar inmediatamente la muestra y registrar el peso de la muestra. Colocar la muestra en el horno. La producción de la muestra tomara no más de cuatro minutos.

Acondicionado. La muestra se coloca inmediatamente en un horno de tiro forzado durante el tiempo especificado, la temperatura y la humedad relativa en función del rendimiento de campo deseado.

Nota: parámetros de prueba 3-típicas para un rápido retorno a la circulación y barriendo rápidamente el producto han sido un tiempo de una hora a  $35^\circ \text{C}$  y

Humedad relativa 30%. Estos valores varían con base en diferentes zonas climáticas de la aplicación del producto.

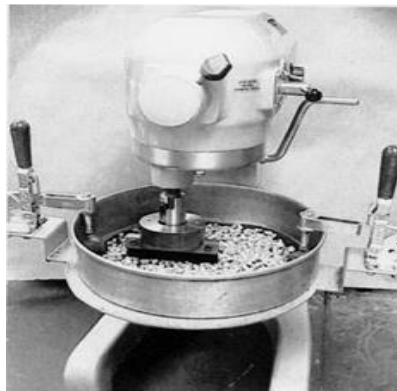
El tiempo y la temperatura del horno se mantendrán a una tolerancia del 10% de los valores deseados. La tolerancia de la humedad relativa será del 25% del valor deseado a menos que se especifique lo contrario.

Nota: La puerta del horno debe ser abierta una vez dentro de un período de 20 min para mantener las condiciones de curado constantes.

Al final del tiempo de acondicionamiento, la muestra se voltea verticalmente y cualquier agregado suelto se elimina por cepillado suave mano de los dedos del técnico hacia atrás y adelante a través de la muestra. La muestra se pesa, y el peso registró a 0,1 g como el peso inicial de la muestra. El tiempo desde el horno acondicionado para ser colocado en el aparato de ensayo no debe ser mayor de dos minutos.

Nota: El cepillado de las manos de los dedos del técnico a través de la muestra ha demostrado ser el método preferido en comparación con un cepillo para eliminar cualquier agregado suelto que no se ha caído cuando la muestra se volvió verticalmente.

**FIGURA # 3. 4 Maquina de barrido.**



**Fuente:**Método de prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D 7000.

Procedimiento. Adjuntar, a continuación, salir de la muestra en el dispositivo de sujeción de  $180 \pm 30$ s. Durante el tiempo de equilibrio, el cepillo se sujeta en la cabeza del cepillo y la

cabeza del cepillo con el peso está unido a la mezcladora. Al final del tiempo de equilibrado, la cabeza del cepillo se pone en contacto con la muestra asegurándose de que haya un movimiento vertical libre flotación de la cabeza del cepillo. El mezclador es convertido en Configuración # 1 (0,83 giros por segundo) durante 60 s. Después de la cabeza del cepillo ha llegado a una parada completa, la tabla se baja y la muestra se retira del dispositivo de sujeción. La muestra se mantiene vertical y cualquier agregado suelto se elimina mediante cepillado suave mano de dedos del técnico de mantenimiento de ida y vuelta a través de la muestra. La muestra desgastada se pesó a 0,1 g y se registra como peso de la pieza final. Una imagen de este procedimiento se puede ver en La figura# 3.4.

Calculo:

La masa porcentual de perdida se determina con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ De perdida de masa} = \frac{(A - B)}{(A - C)} \times 100 \times 1.44$$

Donde:

A= Peso inicial de la muestra,

B= Peso de la pieza final, y

C= Muestra de peso de asfalto en disco.

**Ver resultados anexo # 13.**

### **3.3 DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA.**

#### **3.3.1 Tránsito de diseño.**

Para el Diseño De Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica se consideran los datos brindados por el Ministerio de Obras Públicas; el conteo de estudio de tráfico que ellos realizaron en dicha carretera, se consultó en la oficina de Dirección de Planificación de Obra Pública y la colaboración en la elección del tramo de carretera, en la Subdirección de Administración de Obra de Paso y de Inversión Viales, todo a fin de estimar el tráfico

con su respecto crecimiento vehicular que afectarán el camino durante su vida de servicio, y que este camino esté apto para la aplicación del diseño del tratamiento.

Para el período de diseño y su cálculo se requiere de la siguiente información:

- Período de diseño.
- TMDA = Tránsito Medio Diario Anual(ver tabla 3.9)
- Tasa de Crecimiento Anual.
- **Período de Diseño**

El período elegido para el diseño es de 15 años.

**TABLA # 3. 9 Transito de diseño.**

<b>AÑO</b>	<b>TMDA</b>
<b>2010</b>	720
<b>2011</b>	743.76
<b>2012</b>	768.3
<b>2013</b>	793.66
<b>2014</b>	819.85
<b>2015</b>	846.9
<b>2016</b>	874.85
<b>2017</b>	903.72
<b>2018</b>	933.54
<b>2019</b>	964.35
<b>2020</b>	996.18
<b>2021</b>	1029.05
<b>2022</b>	1063.01
<b>2023</b>	1098.09
<b>2024</b>	1134.32
<b>2025</b>	1171.76
<b>2026</b>	1210.42
<b>2027</b>	1250.37
<b>2028</b>	1291.63
<b>2029</b>	1334.25

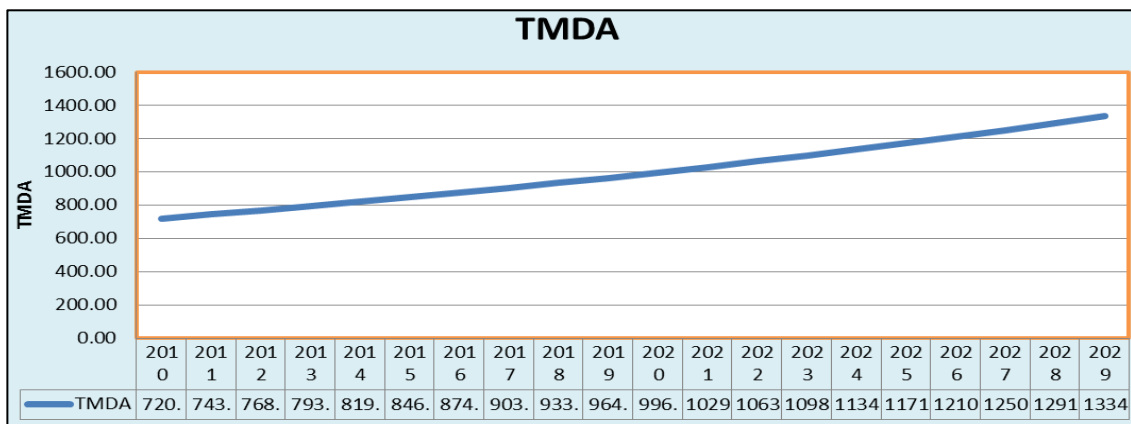
**Fuente:** tabla generado en la presente investigación.

▪ **Tasas de crecimiento anual y TMDA.**

La estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural y capas para pavimentos, debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del flujo vehicular. La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de alto volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito. Si bien existen casos especiales en que este aspecto se transforma en un problema real, los estudios internacionales analizados en general no consideran este efecto significativo, debido a que la tasa de crecimiento tiende a estabilizarse en los años posteriores al cambio de estándar. El diseño considera este efecto por medio del manejo de una tasa de crecimiento en el cálculo de los flujos totales de tránsito para todo el período de diseño ver Tabla # 3.8 Tráfico vehicular para periodo de diseño. De esta forma, la tasa de crecimiento anual utilizada es de 1.033 % y el TMDA, es decir el volumen promedio diario de tránsito registrado a lo largo de un año calendario sobre una sección de un camino o arteria, se tomó el registro de 720 para el año 2010 del tramo “LIB-05W” y con la respectiva tasa de crecimiento anual para el año 2029 el tráfico vehicular será de 1334 ver tabla #3.9 y gráfico #3.1.

Fórmula a utilizar:  $TMDA_{actual} = TMDA_{anterior} * \text{tasa de crecimiento}$

**GRAFICO # 3. 1 Tráfico vehicular para periodo de diseño.**



**Fuente:** gráfico generado en la presente investigación.

### 3.3.2 Método de diseño Kearby modificado

El método de diseño descrito a continuación es una modificación del Método Kearby Original y es recomendado por el Instituto del Transporte de Texas (1981).

Incluye algunos factores de corrección para las tasas de aplicación, los cuales se emplean debido a condiciones de tráfico y del estado del pavimento existente, localización de tramo de estudio, estas características son variables y pueden generar diseños únicos para la vía en estudio.

Este deberá ser considerado como una guía para el Diseño Del Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada, tomando en cuenta que la observación y la experiencia del diseñador son muy importantes en la toma de decisiones al momento de diseñar:

- **Cantidad de agregado.**

$$S = 27W / Q \text{ (Ec. 3.3.1)}$$

Dónde:

S = cantidad de agregado requerido en yarda cuadrada por yarda cúbica (SY / CY);

W = peso unitario seco suelto en libras por pie cúbico (lb / CF), y

Q = cantidad total determinada por la prueba de la placa (lbs / SY).

- **Tasa de aplicación de asfalto.**

La tasa de aplicación de asfalto se puede obtener de la ecuación 2 una vez que se conocen las propiedades de los agregados y las condiciones de la carretera seleccionada para el diseño.

$$A = 5.61 E (1 - W/62.4G) T + V \text{ (Ec. 3.3.2)}$$

Dónde:

A = tasa de asfalto = en gal / SY a 60 ° F.

E = profundidad de empotramiento calculada usando la ecuación 3.

G = carga seca a granel gravedad específica del agregado.

T = factor de corrección del tráfico (véase Tabla # 3.8 Aplicación de asfalto de corrección de tráfico.).

V = corrección de estado de la superficie (véase Tabla # 3.9 Aplicación de asfalto de corrección de tráfico.).

$$E = e * d \text{ (Ec. 3.3.3)}$$

Dónde:

d = profundidad media de capa en centímetros, según los cálculos de la ecuación 4

e = porcentaje de empotramiento expresado como un decimal en la figura #3.6 Relación de empotramiento, porcentaje de espesor del material para determinar la cantidad de asfalto.

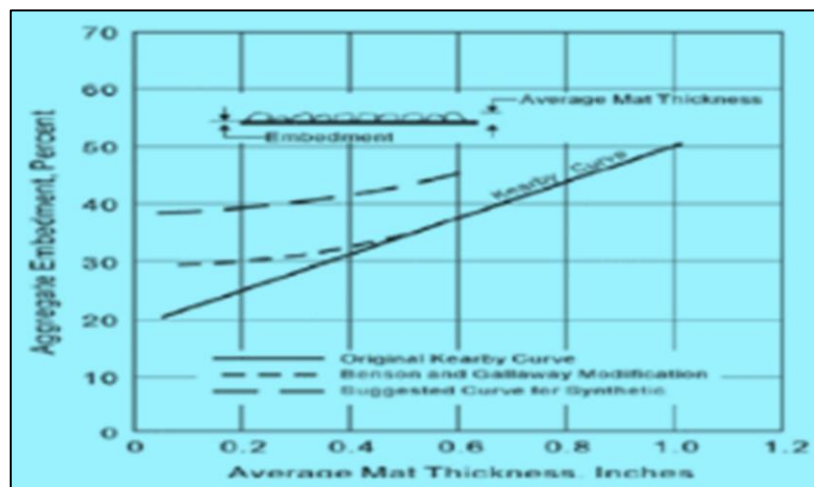
$$d = 1,33 Q / W \text{ (Ec. 3.3.4)}$$

Dónde:

Q = cantidad total determinada por la prueba de la placa en libras / SY.

W = peso unitario seco suelto en libras por pie cúbico (lb / CF).

**FIGURA # 3. 5 Relación de empotramiento, porcentaje de espesor del material para determinar la cantidad de asfalto.**



Fuente: manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

- **Ajuste de emulsiones asfálticas o recortes.**

Para emulsiones, la tasa de aplicación (Ec. 3.3.2) debe incrementarse para tener en cuenta el agua en la emulsión. Por lo tanto para determinar la tasa de aplicación de la emulsión recomendada se utilizará la ecuación 3.3.5. En teoría, la tasa de cemento asfáltico de la ecuación. 3.3.2 se puede convertir en el tipo de emulsión requerido dividiendo esta cantidad entre el asfalto residual presente en la emulsión. Sin embargo, la experiencia de campo muestra que si se utiliza este valor, es probable que ocurra lavado.

**TABLA # 3. 10 Aplicación de asfalto de corrección de tráfico.**

	Tráfico - Vehículos por día por carril				
Factor de corrección de tráfico (T)	>1000	500-1000	250-500	100-250	<100
Factor de corrección de tráfico (T)	<b>1</b>	1.05	1.1	1.15	1.2

**Fuente:** manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

**TABLA # 3. 11 Aplicación de asfalto de corrección de la superficie.**

Descripción de la superficie existente	Corrección de la condición de la superficie (V), gal/SY
Exudación, superficie ligeramente sangrando	-0.06
Superficie lisa y no porosa	-0.03
Superficie un poco porosa, ligeramente oxidada	0
Un poco disgregado, poroso, superficie oxidada	<b>0.03</b>
Muy disgregada, poroso, superficie oxidada	0.06

**Fuente:** manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

Estas condiciones de la superficie pueden variar a lo largo del proyecto, por lo que en consecuencia se deben realizar ajustes.

Por lo tanto, la tasa de aplicación de emulsión recomendada se ajusta como se muestra a continuación:



$$A \text{ recomendada} = A + K (A_{\text{teórica}} - A) \quad (\text{Ec.3.3.5})$$

Dónde:

A recomendada = cantidad recomendada de emulsión

A = tasa de aplicación de asfalto de la ecuación. 3.3.2

K = factor de ajuste estacional, como se muestra a continuación

A teórica = cantidad teórica de la emulsión asfáltica, (A / R).

Dónde:

R = porcentaje de asfalto residual en la emulsión expresado como un decimal.

Factores K sugeridos para emulsiones son como sigue:

K = 0.60 para la construcción de primavera.

K = 0.40 para la construcción verano.

K = 0.70 para la construcción de otoño.

K = 0.90 para la construcción de invierno.

Factores K que se sugieren para los recortes son los siguientes:

K = 0.70 para la construcción de primavera.

K = 0.60 para la construcción verano.

K = 0.80 para la construcción de otoño.

K = 0.90 para la construcción de invierno.

Los factores K no han sido verificados por extensos experimentos de campo controlados y por lo tanto deberían sólo ser utilizados como una guía.

### 3.3.3 Método de diseño McLeod. (ver tabla 3.13 a 3.24)

- Dosis de agregado: El agregado una vez compactado, debe cubrir uniformemente la superficie del pavimento. Por ello, el cálculo de esta dosis se basa solamente en condiciones geométricas del mismo (tamaño y densidad).
- Ha sido desarrollado principalmente para su uso con aglutinantes emulsión.
- Luego de conocer la dimensión mínima puede calcularse el número de metros cuadrados cubiertos por cada metro cúbico de material pétreo.

Para determinar la dosis de agregado en kg/m<sup>2</sup>, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = (1 - 0.4V) \text{ DMP} * G * E \quad (\text{Ec.3.3.6})$$

$$\text{DMP} = T_m / (1.09 + (0.0118 * IL)) \quad (\text{Ec.3.3.7})$$

$$V = 1 - (W / 1000 * G) \quad (\text{Ec.3.3.8})$$

Dónde:

C= Dosis de agregado en kg/m<sup>2</sup>

V= Vacíos en el agregado, condición suelta (expresado en forma decimal).

DMP= Dimensión mínima promedio.

G= Densidad real seca del agregado (kg/m<sup>3</sup>)

E = Factor de desperdicio, corrige la dosis por rebote de partículas y depende del tamaño del agregado, ver tabla # 3.10.

T<sub>m</sub>= Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado (mm).

IL= Índice de partículas planas. (%).

Dosis de ligante: Su cálculo se basa en parámetros geométricos del agregado y parámetros de la emulsión.

Para determinar la tasa de aplicación de ligante en sellos simples, se utiliza la siguiente ecuación:

$$B = K (0.40 * DMP * T * V + S + A) / R. \quad (\text{Ec.3.3.9})$$

B= Dosis de aplicación de emulsión en lt/m<sup>2</sup>

K= Factor de corrección que debe ser evaluado por experiencia del diseñador con base en el clima. Su valor normal es 1.0, pero puede ser mayor o menor según el diseñador. En climas tropicales se ha aplicado 0.9, mientras que en climas muy fríos se usa 1.2.

DMP= Dimensión mínima promedio.

T= Factor de tráfico que incorpora el efecto del tráfico en el embebido del agregado (ver Tabla 3.11).

V= Vacíos en el agregado, en condición suelta (expresado en forma decimal)

S= Factor de corrección por textura superficial (lt/m<sup>2</sup>) (ver Tabla 3.12).

A: Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (lt/m<sup>2</sup>),este factor se desprecia,para agregados absorbentes por encima del 1.5% se recomienda usar 0.09 lt/m<sup>2</sup>.

R= Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (expresado en forma decimal).

**TABLA # 3. 12 Factor de desperdicio.**

DMP (mm)	Desperdicio	Factor de desperdicio (E)
	(%)	
< 6.5	5	1.05
6.5 – 8.0	4	1.04
8.1 – 9.5	3	1.03
> 9.5	2	1.02

**Fuente:** manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

**TABLA # 3. 13 Factor T de corrección por nivel de tráfico.**

Tráfico (veh/día)	Factor T
-------------------	----------

< 100	0.85
100 – 500	0.75
500 – 1000	0.7
1000 – 2000	0.65
> 2000	0.6

**Fuente:** manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

**TABLA # 3. 14 Factor de corrección S por textura superficial,utilizado en Minnesota.**

<b>Textura Superficial</b>	<b>Corrección S (l/m2)</b>
Negra, exudada	-0.04 a -0.27
Suave, no porosa	0
Levemente porosa y oxidada	0.14
Con agujeros leves, oxidada	0.27
Muy porosa	0.4

**Fuente:** manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

Dosis de ligante en condiciones especiales: Se recomienda disminuir la dosis de ligante hasta en un 10% en condiciones donde el sello sea más susceptible a exudar, tales como:

- Pendientes pronunciadas (>8-10%): En el carril de ascenso, el tráfico lento aumenta la tendencia a exudar.
- Caminos con elevado flujo de vehículos pesados.

**Consideraciones para el diseño de segunda capa para el Tratamiento superficial múltiple por el método de McLeod.**

Para el diseño de tratamientos múltiples (entiéndase dobles o triples), el Instituto del Asfalto presenta un método basado en el diseño de tratamientos simples:

- **Dosis de agregados:**

Diseñar cada capa del tratamiento como si fuera un tratamiento simple, cada capa debe tener un tamaño nominal no superior a la mitad del tamaño nominal de la capa inferior, no se debe corregir por pérdida de agregados, corregir la dosis en terreno usando el factor M (clima y tránsito)

- **Dosis de ligante:**

Diseñar cada capa del tratamiento como si fuera un tratamiento simple, después de la primera capa, no se debe corregir por textura superficial.

### **3.3.4 Tasas de aplicación calculadas.**

#### **3.3.4.1 Método de diseño Kearby modificado<sup>15</sup>.**

Diseño de doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada se muestra en la tabla # 3.15

**Tasas calculadas para la primera capa.**

**TABLA # 3. 15 Tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado**

---

<sup>15</sup> Manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4.

Diseño de doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada						
Primera capa de agregado de 3/4".						
Ec	S=27W/Q					
W = lb/ft <sup>3</sup>	Q = lb/yd <sup>2</sup> .	S = yd <sup>2</sup> /yd <sup>3</sup> .				
88.23	27.65	86.16				
Primera capa de emulsión asfáltica.				A=5.61E(1-(W/62.4G))T+V		
E	W	G	T	V	A gal/yd <sup>2</sup>	
0.18	88.23	2.62	1.00	0.00	0.45	
Ajuste de emulsiones asfálticas o recortes.						
Arecomendada=A+K(Ateórica-A)						
A	K	A teórica	A recomendada gal/yd <sup>2</sup>			
0.45	0.40	0.70	0.55			
e	d	E = e*d		R	A teórica A/R	
0.42	0.42	0.18		0.65	0.70	

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

**TABLA # 3. 16Cuadro resumen de variables utilizadas en el método Kearby Modificado.**

W: peso unitario seco suelto.	G: densidad aparente seca del agregado.
Q: cantidad total determinada por la prueba de la placa.	T: factor de corrección del tráfico.
S: cantidad de agregado.	V: corrección del estado de la superficie.
E: profundidad de empotramiento.	A: tasa de emulsión en gal/yd <sup>2</sup> .
e: porcentaje de empotramiento.	d: profundidad media de capa.
A teórica: cantidad teórica de la emulsión asfáltica.	K: factor de ajuste estacional.
A recomendada: cantidad de emulsión asfáltica sugerida.	

**Fuente:** Manual de tratamiento superficial DOC TEXAS, cap 4

**TABLA # 3. 17Tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado.**

Diseño de doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada						
Primera capa de agregado de 3/4".						
Ec	S=27W/Q					
W = lb/ft <sup>3</sup>	Q = lb/yd <sup>2</sup> .	S = yd <sup>2</sup> /yd <sup>3</sup> .				
88.23	23.96	99.41				
Primera capa de emulsión asfáltica.				E		
E	W	G	T	V	A gal/yd <sup>2</sup>	
0.11	88.23	2.65	1.00	0.00	0.28	
Ajuste de emulsiones asfálticas o recortes.						
O						
A	K	A teorica	A recomendada gal/yd <sup>2</sup>			
0.28	0.40	0.44	0.34			
e	d	E = e*d		R	A teorica A/R	
0.30	0.36	0.11		0.65	0.44	

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

**TABLA # 3. 18Cuadro resumen de tasas calculadas por el método de diseño Kearby Modificado.**

CUADRO RESUMEN DE DOSIFICACION DE MATERIALES DE DISEÑO SEGUN METODO KEARBY MODIFICADO.		
MATERIAL	DOSIFICACION	OBSERVACION
EMULSION (CRS-2PE)	0.66 gal/m <sup>2</sup> .	Primer riego de emulsión asfáltica modificada.
GRAVA 3/4"	15 Kg/m <sup>2</sup> .	Primer capa de agregado, esparcidos inmediatamente después de aplicado el primer riego de emulsión.
EMULSION (CRS-2PE)	0.41 gal/m <sup>2</sup> .	Segundo riego de emulsión asfáltica modificada.
GRAVA 3/8"	13 Kg/m <sup>2</sup> .	Segunda capa de agregado esparcido inmediatamente después de aplicado segundo riego de emulsión.

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

### 3.3.4.2 Método de diseño Mcleod.

Tasas calculadas para la primera capa.

**TABLA # 3. 19 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod. (Agregado 3/4")**

<b>Metodo McLeod</b>			
Primera capa de agregado 3/4".			
<b>C=(1-0.4V)DMP.G.E.M</b>		<b>15.49</b>	<b>Kg/m2</b>
Tasa de aplicación de agregado.			
<b>DMP=Tm/(1.09+(0.0118.IL)</b>		<b>=</b>	<b>10.24</b>
<b>V=1-W/1000G</b>		<b>0.45</b>	
<b>C=</b>		<b>15.49</b>	
<b>V=</b>		<b>0.45</b>	
<b>DMP=</b>		<b>10.24</b>	
<b>G=</b>		<b>2.58</b>	
<b>E=</b>		<b>1.10</b>	
<b>Tm=</b>		<b>12.50</b>	
<b>IL=</b>		<b>0.11</b>	
<b>W=</b>		<b>1413.34</b>	
<b>M=</b>		<b>0.65</b>	

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

**TABLA # 3. 20 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod. (Emulsión en primera capa)**

<b>Aplicación de emulsión primera capa.</b>			
<b>B=K((0.40*DMP*T*V+S+A)/R)</b>		<b>1.66</b>	<b>lt/m2</b>
		<b>0.44</b>	<b>gal/m2</b>
<b>B=</b>	<b>1.66</b>		
<b>K=</b>	<b>0.90</b>		
<b>T=</b>	<b>0.65</b>		
<b>V=</b>	<b>0.45</b>		
<b>S=</b>	<b>0.00</b>		
<b>A=</b>	<b>0.00</b>		
<b>R=</b>	<b>0.65</b>		

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación

**TABLA # 3. 21 Cuadro resumen de variables utilizadas en el método McLeod.**



C: Dosis de agregado.	IL: Índice de partículas planas.
V: Vacíos en el agregado, condición suelta.	W: peso volumétrico suelto.
DMP: Dimensión mínima promedio.	M: factor de merma que depende del clima.
G: = Densidad real seca del agregado.	B: Dosis de aplicación de emulsión.
E: = Factor de desperdicio.	T: Factor de tráfico.
Tm: Tamaño medio del agregado.	K: Factor de corrección en base al clima.
S: Factor de corrección por textura superficial.	A: Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado.
R: Porcentaje de asfalto residual de la emulsión.	

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación

**TABLA # 3. 22 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Agregado 3/8")**

<b>Metodo McLeod</b>		
Primera capa de agregado 3/8".		
<b>C=(1-0.4V)DMP.G.E.M</b>	<b>13.09</b>	<b>Kg/m2</b>
Tasa de aplicación de agregado.		
DMP=Tm/(1.09+(0.0118.IL	=	9.24
V=1-W/1000G	0.46	
C=	13.09	
V=	0.46	
DMP=	9.24	
G=	2.61	
E=	1.02	
Tm=	12.70	
IL=	0.20	
W=	1423.21	
M=	0.65	

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

**TABLA # 3. 23 Tasas calculadas por el método de diseño McLeod.(Emulsion segunda capa)**

<b>Aplicación de emulsión segunda capa.</b>			
<b>B=K((0.40*DMP*T*V+S+A)</b>		<b>1.88 lt/m2</b>	
		<b>0.50 gal/m2</b>	
B=	1.88		
K=	0.90		
T=	0.65		
V=	0.46		
S=	0.00		
A=	0.25		
R=	0.65		

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

**TABLA # 3. 24Cuadro resumen de dosificación segun el método McLeod.**

CUADRO RESUMEN DE DOSIFICACION DE MATERIALES DE DISEÑO SEGUN METODO Mcleod.		
MATERIAL	DOSIFICACION	OBSERVACION
EMULSION (CRS-2PE)	0.44 gal/m2.	Primer riego de emulsión asfáltica modificada.
GRAVA 3/4"	15.49 Kg/m2.	Primer capa de agregado, esparcidos inmediatamente después de aplicado el primer riego de emulsión.
EMULSION (CRS-2PE)	0.50 gal/m2.	Segundo riego de emulsión asfáltica modificada.
GRAVA 3/8"	13.09 Kg/m2.	Segunda capa de agregado esparcido inmediatamente después de aplicado segundo riego de emulsión.

**Fuente:** datos propios desarrollados durante la presente investigación.

## **CAPITULO IV**

# **ANALISIS DE RESULTADOS**

## **4.1 ANALISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE DOBLES TRATAMIENTO CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA.**

El objetivo principal de la presente investigación, es el diseño de la técnica de un doble tratamiento superficial utilizando una emulsión asfáltica modificada utilizando los materiales disponibles en El Salvador en nuestro caso de la cantera San Diego obteniendo el desempeño bajo las condiciones climatológicas propias del país, como también tomando en cuenta las características del tráfico promedio vehicular y las condiciones actuales de los pavimentos del tramo donde ya se aplicó un doble tratamiento.

Este estudio se basa esencialmente en evaluar el comportamiento y analizar el desempeño de un Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada, siendo necesario describir los elementos teóricos, los procedimientos de elaboración de los diferentes ensayos, y finalmente ejecutando las pruebas de desempeño, a los especímenes elaborados, tal como lo es la prueba de desempeño D7000.

En el capítulo anterior se presentan los resultados de estas pruebas de desempeño, las cuales fueron realizadas a especímenes elaborados en el laboratorio con los diferentes materiales y con los procedimientos normados por organizaciones internacionales, tales como ASTM American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

### **4.1.1 Análisis de ensayos de agregados: ASTM C131, ASTM C127, ASTM C29, ASTM D136.**

Según el manual básico de emulsiones asfálticas MS-19, establecen que se deben realizar previamente pruebas experimentales de laboratorio a los agregados a emplear en el diseño del doble tratamiento, entre los cuales menciona: granulometría, prueba de desgaste (prueba de los ángeles), densidad relativa de agregado grueso y agregado fino, peso volumétrico suelto.

Para la prueba de desgaste (ASTM C131) para el agregado de 3/8" se obtuvo un resultado de 18.23% y el agregado de 3/4" se obtuvo resultado de 20.41% (ver anexos 1 y 2), el

porcentaje máximo de desgaste que indica el Manual Básico de Emulsiones MS-19 dice que el desgaste no tiene que ser mayor a 45%<sup>16</sup> por tanto este agregado cumple esta prueba.

En la prueba de Adsorción (ASTM C127) el resultado para el agregado de ¾” fue de 0.993% (ver anexo.) y para el agregado de 3/8” fue de 1.83%( ver anexo), el rango de adsorción para el agregado de ¾” es entre 0.9% a 1.4% y para agregado de 3/8” es de 1.4% a 2%<sup>17</sup> por tanto el agregado cumple satisfactoriamente este ensayo.

La prueba de vacíos en el agregado (ASTM C29) se realizó tanto como para agregado suelto como para agregado varillado los resultados fueron: ¾” suelto 44.64%, 3/8” suelto 39.158, ¾” varillado 39.097% , 3/8” varillado 44.42%. Los rango son: ¾” suelto 42% a 48%, 3/8” suelto 36% a 41%, ¾” varillado 36% a 41%, 3/8” varillado 42% a 48% Por tanto están en los rangos y este cumple con lo especificado. Los límites de la prueba de adsorción y de la prueba de vacíos son tomados del “Manual de Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

**4.1.2 Análisis de ensayos de mezcla asfáltica: ASTM D 244, ASTM D 7402, ASTM D 6934, ASTM D 6997, ASTM D 6993, ASTM D 6930, ASTM D 70, ASTM D 5, ASTM D 113, ASTM D 36.**

Es de señalar que para la elaboración del Diseño de doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada se empleó una emulsión tipo CRS – 2PE con las siguientes características: es catiónica, de rotura rápida, alta viscosidad y modificada con polímero.

De acuerdo a la American SocietyforTesting and Materials, (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) se verifico que la emulsión cumpliera con los parámetros que dictan las normas: viscosidad sayboltfurolt a 50°C ASTM D 244 obteniendo un resultado de 40.00

---

<sup>16</sup> Manual de Emulsiones MS-19 pág. 35

y el y la norma establece un mínimo de 40.00, carga de partícula ASTM D 7402 obteniendo como resultado carga positiva lo cual comprueba que la emulsión es catiónica, residuo por evaporación ASTM D 6934 obteniendo un resultado de 65.14 y la norma establece un mínimo de 65.00, residuo por destilación ASTM D 6997 obteniendo un resultado de 65.44 y la norma establece un mínimo de 65.00, prueba de tamizado ASTM D 6993 obteniendo un resultado de 0.01 y la norma establece un máximo de 0.1, prueba de estabilidad en almacenamiento a 24hr ASTM D6930 obteniendo un resultado de 0.43 y la norma establece un máximo de 1.00, densidad de la emulsión ASTM D 70 es de aclarar que la norma no establece un parámetro para el control de calidad, este es un dato que se calcular para conocer el peso de la emulsión por la cantidad de volumen que se desee ( galón, barril, etc.), penetración ASTM D 5 obtenido un resultado de 42.00 y la norma establece un parámetro entre 30 y 100, ductilidad ASTM D 113 obteniendo un resultado de 48.00 y la norma establece un mínimo de 40.00, punto de ablandamiento ASTM D 36 obteniendo un resultado de 58.00 y la norma establece un mínimo de 45. Se pudo verificar a través de los resultados obtenidos que la emulsión CRS – 2PE cumple con el control de calidad establecida en las normas ASTM.

#### **4.1.3 Análisis de diseño de doble tratamiento con emulsión asfáltica modificada.**

Un doble tratamiento superficial está compuesto de dos capas de agregado y de emulsión asfáltica, en la presente investigación se utilizó agregado de 3/4” para la primera capa y agregado de 3/8” para la segunda, la emulsión utilizada es una CRS-2PE (emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero) para la primera y segunda capa.

Como objetivo específico se había considerado utilizar solo el método de diseño Kearby Modificado pero a medida que se desarrolla la investigación y se aplican las tasas de emulsión encontradas en un área de prueba de 0.25m<sup>2</sup>, se encontró mucho derrame de emulsión en la primera capa y muy pobre en la segunda, es a partir de ahí que se investiga el método de diseño McLeod el cual también es utilizado para tratamientos superficiales. Las tasas de emulsión encontradas por ambos métodos se muestran en la Tabla # 4.1.

Las tasas de agregados calculadas para la primera y segunda capa por ambos métodos son correctas las variaciones son aceptables, la diferencia más significativa es la cantidad de emulsión encontrada en donde las calculadas por el método McLeod se consideran adecuadas y cumplen con la prueba de desempeño ASTM D 7000.

**TABLA # 4. 1Tasa de aplicación para la primera y segunda capa.**

Método Material	Kearby Modificado	McLeod	Diferencia (+ o -)
EMULSION (CRS-2PE)	0.66 gal/m <sup>2</sup> .	0.44 gal/m <sup>2</sup> .	0.22 gal/m <sup>2</sup> .
GRAVA 3/4"	15 Kg/m <sup>2</sup> .	15.49 Kg/m <sup>2</sup> .	-0.49 Kg/m <sup>2</sup> .
EMULSION (CRS-2PE)	0.41 gal/m <sup>2</sup> .	0.50 gal/m <sup>2</sup> .	-0.09 gal/m <sup>2</sup> .
GRAVA 3/8"	13 Kg/m <sup>2</sup> .	13.09 Kg/m <sup>2</sup> .	-0.09 Kg/m <sup>2</sup> .

**Fuente: datos propios desarrollados durante la presente investigación.**

#### **4.1.4 Análisis de resultado y desempeño de la prueba estándar para el barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa ASTM D7000.**

Se realizó la prueba de barrido para determinar el porcentaje de pérdida del agregado y tiempo de curado de la emulsión, se empezó por cortar los especímenes de papel fieltro con un diámetro de 0.30m que indica la norma D7000, dicha prueba indica que la cantidad de emulsión aplicada en cada espécimen es de 78 a 88 ml, y en nuestra prueba la cantidad óptima fue de 85 ml (ver anexo 13.) que es donde hubo menos desprendimiento de agregado por tanto esta en el rango y para dicha investigación es la óptima.

Cabe mencionar que las cantidades de emulsión antes mencionada puede variar debido a que los agregados utilizados son específicamente de la Cantera de San Diego, y al utilizar otro agregado proveniente de otra Cantera esta cantidad de emulsión puede variar ya que la cantidad de finos puede ser mayor a la utilizada, un porcentaje de finos arriba del 3% no es

recomendable utilizar al menos que este sea lavado ya que los finos evitan que el agregado con la Emulsión tengan buena adhesividad.

La habilitación del tráfico luego de aplicado este tratamiento según prueba realizada es de 5 a 6 horas en un clima soleado con una temperatura promedio de 32° C. si el clima se presenta lluvioso no se debe aplicar el tratamiento durante el momento de una lluvia intensa, si el día que se aplicara la emulsión para el tratamiento es nublado con temperatura menor a 32°C será mejor dar un par de horas más para la habilitación del tráfico.

Luego de habilitado el tráfico este ayuda mucho al acomodamiento de los agregados sueltos y estos se alojaran en un espacio vacío gracias a la compactación que produce la llanta del vehículo.



**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

Luego de haber realizado un estudio investigativo y de laboratorio acerca del diseño de un doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada se pueden emitir las siguientes conclusiones.

- Se utilizaron materiales pétreos (grava 3/4" y grava 3/8"), procedentes del banco "La Cantera" San Diego, La Libertad los cuales cumplieron con los parámetros de calidad que dictan las normas ASTM C131, ASTM C127, ASTM C29 Y ASTM D136.
- La emulsión asfáltica utilizada CRS-2PE (emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero) proporcionada por ASFALCA (asfaltos de Centroamérica), cumple con los parámetros de calidad que dictan las normas ASTM D 244, ASTM D 7402, ASTM D 6934, ASTM D 6997, ASTM D 6993, ASTM D 6930, ASTM D 70, ASTM D 5, ASTM D 113, ASTM D 36.
- Para calcular las tasas de aplicación de emulsión y de agregado inicialmente solo se había considerado utilizar el método de diseño Kearby Modificado pero a medida que se desarrolla la investigación y se realizan los cuadros de ensayo se comprueba que las tasas de emulsión encontradas por el método Kearby Modificado para el primer riego es mucha emulsión, mientras que para el segundo riego es muy poca, es por ello que se incluye el método de diseño McLeod el cual es utilizado también para tratamientos superficiales, se comprueba que las tasas encontradas tanto de emulsión asfáltica como de agregados por el método de diseño McLeod son las adecuadas en base al tipo de tránsito y del lugar.
- La forma geométrica adecuada de los agregados para tratamientos superficiales es la cubica ya que las partículas planas y alargadas no son recomendables esto debido a que se requiere mayor cantidad de emulsión para envolver el agregado, además es importante que el agregado este limpio si las partículas son polvorientas o están recubiertas con arcilla o limo, existe la probabilidad de que la emulsión no se

adhiera a ellas, el polvo produce una película que impide que el asfalto se adhiera a la superficie del agregado.

- Se determinó mediante la prueba de desempeño ASTM D 7000 que existe muy buena adherencia entre el agregado utilizado y la emulsión asfáltica (CRS -2PE), además de ello se comprobó el curado de esta es rápido de manera que puede ser utilizada para tratamientos superficiales que requieren una rápida apertura del tráfico.
- Con la realización de esta investigación se genera una alternativa factible de carpeteo a aquellas calles vecinales y de mediano tráfico (secundarias y terciarias), que actualmente se encuentran en mal estado, la técnica del doble tratamiento superficial se vuelve una alternativa viable y de buen desempeño con una supervisión adecuada; tanto el gobierno central como municipal podrían reducir costos de mantenimiento.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Los resultados han sido obtenidos en laboratorio simulando las condiciones de tráfico, clima, condiciones de la carretera, entre otras. De manera que los resultados son una guía bastante confiable del comportamiento de este tipo de tratamiento pero es recomendable para futuros grupos de tesis tomando en cuenta los análisis, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de grado, colocar el Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada en un pavimento para verificar su funcionalidad y comportamiento real.
- Los resultados finales del diseño con el método McLeod son satisfactorios de manera que se recomienda aplicar el estudio para una carretera secundaria o terciaria.
- Se recomienda utilizar agregados limpios y libres de cualquier sustancia química para la aplicación del tratamiento.

- La superficie por sellar no debe de presentar deterioro activo acelerado, es decir no se recomienda utilizarlo en pavimentos estructuralmente deficientes, con un gran número de baches o grietas ni en el caso de carreteras con tránsito pesado; es recomendable un tratamiento de las grietas con un sellador de grietas antes de la aplicación del tratamiento superficial con emulsión asfáltica.
- Se recomienda no tomar las tasas de aplicación de agregados y de emulsión encontradas en el presente diseño para cualquier tipo de carretera ya que las tasas de aplicación varían dependiendo el tipo de agregado a utilizar, el clima, el tránsito, las pendientes de la carretera (a mayor pendiente menor tasa de emulsión, esto con el fin de disminuir el escurrido de emulsión), por lo que se recomienda evaluar el pavimento existente.
- Se recomienda no ejecutar un tratamiento superficial cuando el clima es lluvioso.
- Se recomienda que la apertura del tráfico luego de aplicado un tratamiento superficial con emulsión asfáltica modifica sea de 2 a 5 horas con tráfico controlado con una velocidad no mayor a 25 km/h, a apertura del tráfico también ayuda a la compactación del agregado suelto, ya que luego de la apertura este se acomoda en los espacios vacíos.
- Se recomienda realizar la compactación con neumáticos ya que otro tipo de compactador como rodillo lizo pueden fracturar y desgastar el agregado.

### **5.3 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

- Ing. Alfonso Montejó Fonseca “ Ingeniería de Pavimentos, 2002”
- Tesis “Tratamiento Superficial Simple Tipo Cape Seal” Jazmín Lizeth Cerón, Sergio Martínez Duran, Marjorie Del Carmen Morales
- UCA “ Guía Técnica de laboratorio de materiales de construcción”
- Apuntes técnicos de la empresa ASFALCA (Asfaltos de Centroamérica, S.A. de C.V.).

- Instituto del Asfalto, Manual MA-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en caliente.
- Instituto del asfalto. Manual básico de emulsiones Asfálticas. Manual series N0. 19.
- Héctor Edgardo Ibáñez Aguilera, “uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos en caliente y fríos” tesis de grado para optar al título de constructor civil año 2003. Universidad de AUSTRAL de Chile Facultad de ciencias de la ingeniería, escuela de construcción civil.

#### DIRECCIONES DE INTERNET:

- [www.asphaltinstitute.org](http://www.asphaltinstitute.org)
- [www.imt.mx](http://www.imt.mx)
- [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)
- [www.asfalca.com.sv](http://www.asfalca.com.sv)
- [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)
- [www.multipav.com.sv](http://www.multipav.com.sv)
- [www.MOP.gob.sv](http://www.MOP.gob.sv)

## 5.4. GLOSARIO.

### A

**Abrasión.** Se denomina abrasión (del lat. *abradere*, "raer") a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.

**Alquitrán.** El obtenido por destilación del petróleo. Se usa como impermeabilizante y como asfalto artificial.

**Asbesto:** es un grupo de minerales metamórficos fibrosos. Están compuestos de silicatos de cadena doble.

**Asfáltenos.** Son una familia de compuestos químicos orgánicos del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y por tanto, los de mayor punto de ebullición.

**ASTM.** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

**Agregado.** Un material mineral inerte y duro, tal como grava, roca triturada, escoria o arena.

**Asfalto.** Material cementante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural o obtenido por refinación del petróleo.

**Agente Emulsivo.** La sustancia química, agregada al agua y al asfalto, que mantiene al asfalto en suspensión estable en el agua.

## B

**Banquina.** Es una franja longitudinal pavimentada o no, contigua a la calzada (no incluida en ésta), no destinada al uso de automóviles más que en circunstancias excepcionales.

**Base granular imprimada.** Base granular sobre la que se aplica un riego de asfalto de baja viscosidad, en preparación para la colocación de una mezcla asfáltica.

**Bermas.** Ver definición de “Banquina”.

**Bionda.** Es un elemento de protección de seguridad vial pasiva, colocado a los lados de la vía, para separar calzadas de sentido contrario, o en tramos peligrosos para impedir que los vehículos se salgan de la vía o puedan chocar con elementos más peligrosos que la misma barrera. Algunos poseen reflectores incorporados.

**Bitumen.** Es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Es la fracción residual resultante de la destilación fraccionada del petróleo. Es la fracción más pesada y la que tiene el punto de ebullición más elevado.

**Bureta.** son tubos gruesos, cortos, graduados, de diámetro interno uniforme, dependiendo del volumen, de décimas de mililitro o menos.

## C

**Capacidad portante.** Es la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre la misma.

**Craqueo.** Es un proceso químico por el cual se quiebran moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples.

## D

**Ductilidad.** Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos de dicho material.

**Destilación.** Es la operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias.

## E

**Emulsión Asfáltica.** Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.

## F

**Filtro.** Es un textil no tejido, en forma de lámina

## G

**Gravedad Específica.** Es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. Ambas densidades se expresan en las mismas unidades y en iguales condiciones de temperatura y presión.

**Glicerina.** La glicerina es un líquido espeso, neutro, de sabor dulce, que al enfriarse se vuelve gelatinoso al tacto y a la vista, y que tiene un punto de ebullición alto.

## I

**ISSA.** International Slurry Surfacing Association (Asociación Internacional de Lechadas Asfálticas).

## L

**Ligante.** Material que contiene betún (bitumen), el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El asfalto y el alquitrán son materiales bituminosos.

## M

**Máltenos.** Son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición. Están constituidos por anillos aromáticos, nafténicos y con muy pocas cadenas parafínicas.

**Modelo micelar.** Se refiere al conjunto de moléculas que constituye una de las fases de los coloides. Es el mecanismo por el cual el jabón solubiliza las moléculas insolubles en agua, como las grasas.

## P

**PCI.** Índice de condición del pavimento.

**Performance.** Se refiere la calidad del acabado de una superficie, lo que la hace altamente atractiva a la vista del usuario.

**Polímero.** Poly: muchos y mero: parte, segmento son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

**Polución atmosférica.** Presencia de sustancias en la atmosfera, como consecuencia de procesos naturales o de actividades humanas, en concentraciones y tiempo suficientes como para alterar la comodidad, la salud o el bienestar de los seres vivos o perjudicar al medio.

**Preservación del pavimento.** Son las actividades encargadas de proveer y mantener los caminos en servicio, incluyendo investigación, los métodos para incrementar la vida y aumentar el rendimiento de los pavimentos revisando el beneficio costo para disminuir las demoras a los usuarios. La preservación de los pavimentos incluye el mantenimiento



preventivo así como rehabilitaciones menores. No incluye reconstrucción, obra nueva o rehabilitación mayor.

**PSI.** Índice de capacidad de servicio del pavimento.

## R

**Rodillos Neumáticos.** Rodillos equipados con varias llantas neumáticas espaciadas de modo que sus huellas se traslapan mientras aplican una compactación de amasado.

## S

**Sistema coloidal.** Es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción. Normalmente la fase continua siendo líquido, pero pueden encontrarse coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados de agregación.

## T

**Tara.** Peso que corresponde al recipiente o envase que contiene o transporta un material, sin contar el peso de este.

**Tensión superficial.** Es la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área. Esta definición implica que el líquido tiene una resistencia para aumentar su superficie.

## V

**Vida útil del pavimento.** La vida útil es un parámetro al momento de su diseño. Se puede considerar 5, 10 o 20 años, lo que influirá en las características del pavimento y, por lo tanto, su factibilidad económica. La vida útil de la carretera puede verse afectada por el incremento del tráfico, o por cambios en la normatividad vial, si se incrementa la carga permitida por eje.

**Viscosímetro.** Es un instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1 Determinación del porcentaje de desgaste ASTM C 131

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL ANEXO 1 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DESGASTE (ASTM C 131)		 <p style="font-size: small; text-align: center;">                     Universidad de El Salvador  <i>Hacia la libertad por la cultura</i> </p>
<b>PROYECTO</b>	Diseño De Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada.	
<b>MATERIAL</b>	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego	
<b>LABORATORIO</b>	Laboratorio De Suelos Y Materiales De La Universidad De El Salvador.	
<b>FECHA:</b>	12/03/2014	

**DATOS:**

MUESTRA	g
PESO INICIAL	5000.00
PESO RETENIDO EN MALLA No. 12	4088.50
DIFERENCIA	911.50
% DE DESGASTE	18.23


## ANEXO 2 Determinación del porcentaje de desgaste ASTM C 131

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL</p>		 <p>Universidad de El Salvador <i>Hacia la libertad por la cultura</i></p>
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DESGASTE (ASTM C 131)		
PROYECTO	Diseño De Doble Tratamiento Superficial Con Emulsión Asfáltica Modificada.	
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego	
LABORATORIO	Laboratorio De Suelos Y Materiales De La Universidad De El Salvador.	
FECHA:	12/03/2014	

### DATOS:

MUESTRA	g
PESO INICIAL	5000.00
PESO RETENIDO EN MALLA No. 12	3979.5
DIFERENCIA	1020.5
% DE DESGASTE	20.41

**ANEXO 3 Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL ANEXO 3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C 127)				 <b>Universidad de El Salvador</b> <i>Hacia la libertad por la cultura</i>
PROYECTO	Diseño de Doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada			
MATERIAL	Grava 3/4" procedente de La Cantera, San Diego			
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador			
FECHA	14/03/2014			
PESOS	1	2	3	
A: PESO AL AIRE DEL MATERIAL SECO AL HORNO Kg	2977.4	2974.5		<b>PROMEDIO</b>
B: PESO AL AIRE DEL MATERIAL EN CONDICION SSS Kg	3005.2	3005.8		
C: PESO APARENTE SATURADO EN AGUA Kg	1842.4	1842.7		
GRAVEDAD RELATIVA	2.56	2.557		<b>2.558</b>
GRAVEDAD RELATIVA SSD	2.584	2.584		<b>2.584</b>
GRAVEDAD RELATIVA APARENTE	2.623	2.628		<b>2.625</b>
GRAVEDAD DEL AGREGADO kg/m <sup>3</sup>	2,553.6	2,550.61		<b>2,552.105</b>
GRAVEDAD SSD kg/m <sup>3</sup>	2,577.54	2,577.54		<b>2,577.54</b>
GRAVEDAD APARENTE kg/m <sup>3</sup>	2,616.44	2,621.43		<b>2,618.94</b>
ABSORCION %	0.933	1.052		<b>0.993</b>

## ANEXO 4 Gravedad específica y absorción de agregado grueso ASTM C 127

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL  ANEXO 4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C 127)				
				
PROYECTO	Diseño de Doble tratamiento superficial con emulsión asfáltica modificada			
MATERIAL	Grava 3/8" procedente de La Cantera, San Diego			
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador			
FECHA DE ENSAYO	14/03/2014			
PESOS	1	2	3	
A: PESO AL AIRE DEL MATERIAL SECO AL HORNO Kg	1474	1479.1		<u>PROMEDIO</u>
B: PESO AL AIRE DEL MATERIAL EN CONDICION SSS Kg	1502.1	1505.6		
C: PESO APARENTE SATURADO EN AGUA Kg	927.1	929.1		
GRAVEDAD RELATIVA	2.563	2.57		<b>2.535</b>
GRAVEDAD RELATIVA SSD	2.612	2.612		<b>2.575</b>
GRAVEDAD RELATIVA APARENTE	2.69	2.689		<b>2.65</b>
GRAVEDAD DEL AGREGADO kg/m <sup>3</sup>	2,556.59	2,563.57		<b>2527.38</b>
GRAVEDAD SSD kg/m <sup>3</sup>	2,605.47	2,605.47		<b>2570.03</b>
GRAVEDAD APARENTE kg/m <sup>3</sup>	2,683.28	2,682.27		<b>2640.27</b>
ABSORCION %	1.87	1.791		<b>1.83</b>

**ANEXO 5** Pesos volumétricos y vacíos en el agregado(3/4" varillado) ASTM C 29.

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA CIVIL



PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO  
(ASTM C 29)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014

TAMAÑO NOMINAL DE MUESTRA	19	Mm
PESO DEL MOLDE (gr)	6294.5	
DIAMETRO DE MOLDE (cm)	15.21	
ALTURA DE MOLDE (cm)	11.65	
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2116.8	

suelto  varillado  golpeado

ENSAYO No.	peso de muestra + molde (g)	peso de molde (g)	peso neto (g)	volumen (cm3)	peso volumétrico (g/cm3)
1	9577.5	6294.5	3283	2116.8	1.5509
2	9582	6294.5	3287.5	2116.8	1.553
3	9597.5	6294.5	3303	2116.8	1.5604
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.5548</b>	<b>g/cm3</b>
				<b>1554.78</b>	<b>Kg/m3</b>

**Continuación ANEXO 5**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL



PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO  
 (ASTM C 29)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con En Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San I
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universi Salvador
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014

CÁLCULO DE % DE VACÍOS  
 INTERPARTICULAS

$$\% \text{ Vacíos} = 100 [(S * W) - M] / (S * W)$$

S	Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	2.558	
W	Densidad del agua a 25° C	998	Kg/m3
M	Peso volumétrico	1554.78	Kg/m3

<b>% Vacíos</b>	<b>39.097</b>
-----------------	---------------

OBSERVACIONES                      El ensayo se ejecutó con el agregado seco al 100%



**ANEXO 6 pesos volumétricos y vacíos en el agregado(3/8" varillado) ASTM C 29.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL



ANEXO 6

PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO  
 (ASTM C 29)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014

TAMAÑO NOMINAL DE MUESTRA	9.5	mm
PESO DEL MOLDE (g)	6294.5	
DIAMETRO DE MOLDE (cm)	15.21	
ALTURA DE MOLDE (cm)	11.65	
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2116.8	

suelto  varillado  golpeado

ENSAYO No.	peso de muestra + molde (g)	peso de molde (g)	peso neto (g)	volumen (cm <sup>3</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
1	9592	6294.5	3297.5	2,116.8	1.5577
2	9597	6294.5	3302.5	2,116.8	1.5601
3	9589	6294.5	3294.5	2,116.8	1.5564

PROMEDIO 1.5581 g/cm<sup>3</sup>

1558.09 Kg/m<sup>3</sup>

**Continuación ANEXO 6**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL



PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO  
 (ASTM C 29)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014

**CÁLCULO DE % DE VACÍOS  
 INTERPARTICULAS**

$$\% \text{ Vacíos} = 100 [(S * W) - M] / (S * W)$$

S	Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	2.566	
W	Densidad del agua a 25° C	998	Kg/m <sup>3</sup>
M	Peso volumétrico	1558.09	Kg/m <sup>3</sup>

% Vacíos	39.158
----------	--------

OBSERVACIONES El ensayo se ejecutó con el agregado seco al 100%

## ANEXO 7 Pesos volumétricos y vacíos en el agregado(3/8" suelto) ASTM C 29

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL



### ANEXO 7

### PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO ASTM C 29

Universidad de El Salvador  
*Hacia la libertad por la cultura*

<b>PROYECTO</b>	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
<b>MATERIAL</b>	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego
<b>LABORATORIO</b>	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	18/03/2014

<b>TAMAÑO NOMINAL DE MUESTRA</b>	9.5		mm
<b>PESO DEL MOLDE (g)</b>	6294.5		
<b>DIAMETRO DE MOLDE (cm)</b>	15.21		
<b>ALTURA DE MOLDE (cm)</b>	11.65		
<b>VOLUMEN DE MOLDE (cm<sup>3</sup>)</b>	2116.8		

suelto  varillado  golpeado

ENSAYO No.	peso de muestra + molde (g)	peso de molde (g)	peso neto (g)	volumen (cm <sup>3</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )
1	9313	6294.5	3018.5	2116.8	1.4259
2	9297	6294.5	3002.5	2116.8	1.4184
3	9311.5	6294.5	3017	2116.8	1.4253

PROMEDIO 1.4232 g/cm<sup>3</sup>

1,423.21 Kg/m<sup>3</sup>



**ANEXO 8 pesos volumétricos y vacíos en el agregado (3/4" suelto) ASTM C 29**

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR                  FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE                  DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA                  INGENIERIA CIVIL</p> <p>ANEXO 8</p> <p>PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO                  (ASTM C 29)</p>		
PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada	
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego	
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador	
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014	
TAMAÑO NOMINAL DE MUESTRA	19 mm	
PESO DEL MOLDE (g)	6294.5	
DIAMETRO DE MOLDE (cm)	15.21	
ALTURA DE MOLDE (cm)	11.65	
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2116.8	

suelto  varillado golpeado

ENSAYO No.	peso de muestra + molde (g)	peso de molde (g)	peso neto (g)	volumen (cm <sup>3</sup> )	peso volumétrico (g/cm <sup>3</sup> )	
1	9289	6294.5	2985.5	2116.8	1.4103	
2	9290	6294.5	2995.5	2116.8	1.4151	
3	9280	6294.5	2994.5	2116.8	1.4146	
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.4133</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
					<b>1413.34</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>

**Continuación ANEXO 8**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL



**PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO**  
 (ASTM C 29)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	18/03/2014

**CÁLCULO DE % DE VACÍOS  
 INTERPARTICULAS**


$$\% \text{ Vacíos} = 100 [(S * W) - M] / (S * W)$$

S	Gravedad específica de acuerdo a ASTM C 127	2.558	
W	Densidad del agua a 25° C	998	Kg/m3
M	Peso volumétrico	1413.34	Kg/m3

<b>% Vacíos</b>	<b>44.64</b>
-----------------	--------------

OBSERVACIONES El ensayo se ejecutó con el agregado seco al 100%

**ANEXO 9 prueba de tamizado de agregado grueso (3/4") ASTM C 136.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL  PRUEBA DE TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO (ASTM C 136)		 Universidad de El Salvador <i>Hacia la libertad por la cultura</i>
PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada	
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego	
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador	
FECHA DE ENSAYO	21/03/2014	

**TABLA DE PESOS RETENIDOS**

N TAMIZ'	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	MINIMO	MAXIMO
3/4	19	41.00	0.76	0.76	99.24	90	100
1/2	12.7	2345.00	43.71	44.47	55.53		
3/8	9.52	1215.00	22.64	67.11	32.89	20	55
4	4.75	1725.00	32.15	99.26	0.74	0	10
8	2.36	27.00	0.50	99.77	0.23	0	5
16	1.18	3.00	0.06	99.82	0.18		
30	0.6	1.00	0.02	99.84	0.16		
50	0.3	1.00	0.02	99.86	0.14		
100	0.14	1.00	0.02	99.88	0.12		
200	0.074	3.50	0.07	99.94	0.06		
<b>FONDO</b>		3.00	0.06	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		<b>5365.50</b>	100.00				

**ANEXO 10 curva granulométrica agregado de 3/4" ASTM C 136.**

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA CIVIL

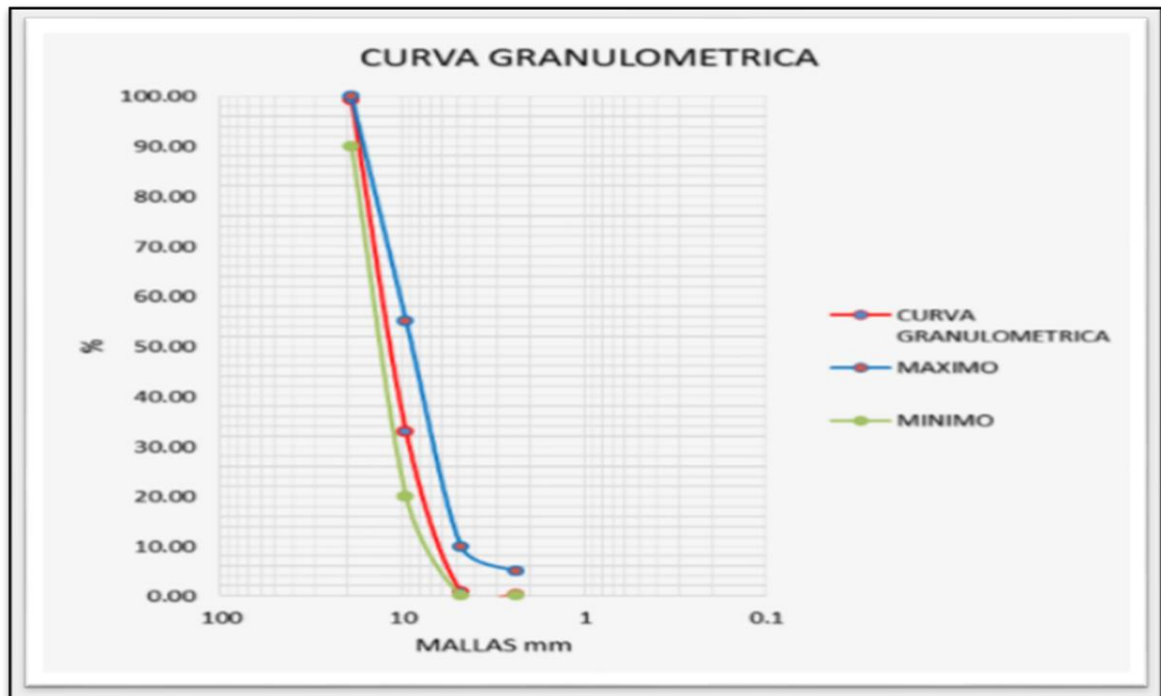


Universidad de El Salvador

*Hacia la libertad por la cultura*

PRUEBA DE TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO  
(ASTM C 136)

PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/4" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	21/03/2014





**ANEXO 11 prueba de tamizado de agregado grueso (3/8") ASTM C 136.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 INGENIERIA CIVIL




PRUEBA DE TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO  
 (ASTM C 136)

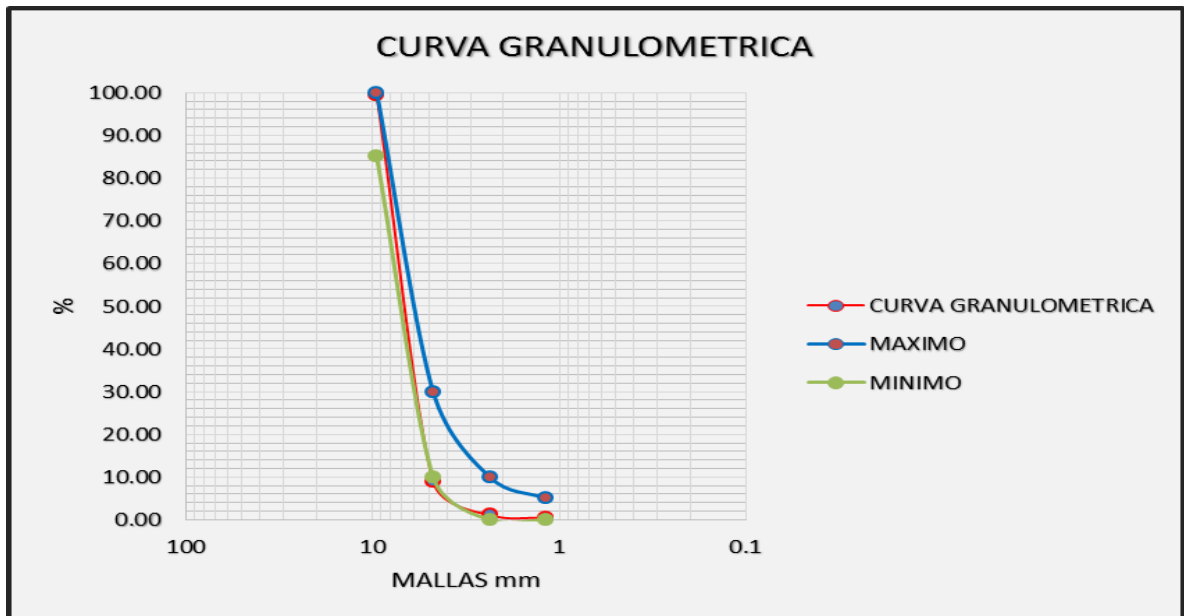
PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada
MATERIAL	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador
FECHA DE ENSAYO	21/03/2014

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	MINIMO	MAXIMO
3/8	9.52	8.50	0.66	0.66	99.34	85	100
4	4.75	1164.50	90.34	91.00	9.00	10	30
8	2.36	101.30	7.86	98.86	1.14	0	10
16	1.18	8.60	0.67	99.53	0.47	0	5
30	0.6	1.00	0.08	99.60	0.40		
50	0.3	1.00	0.08	99.68	0.32		
100	0.14	1.00	0.08	99.76	0.24		
200	0.074	1.50	0.12	99.88	0.12		
<b>FONDO</b>		1.60	0.12	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		<b>1289.00</b>	100.00				

**ANEXO 12 curva granulométrica de agregado 3/8" grueso ASTM C 136.**

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL</p> <p>PRUEBA DE TAMIZADO DE AGREGADO GRUESO (ASTM C 136)</p>		 <p>Universidad de El Salvador <i>Hacia la libertad por la cultura</i></p>
PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada	
MATERIAL	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego	
LABORATORIO	Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador	
FECHA DE ENSAYO	21/03/2014	

**GRAFICA CON MINIMOS Y MAXIMOS**



**ANEXO 13 prueba de barrido de tratamiento superficial con emulsión bituminosa  
ASTM D7000.**


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA INGENIERIA CIVIL		 <p style="font-size: small;">Universidad de El Salvador <i>Hacia la libertad por la cultura</i></p>
PRUEBA DE BARRIDO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION BITUMINOSA. (ASTM D7000)		
PROYECTO	Diseño de Doble Tratamiento Superficial con Emulsión Asfáltica Modificada	
MATERIAL	Agregado 3/8" procedente de La Cantera, San Diego y Emulsión CRS-2PE	
LABORATORIO	Laboratorio de ASFALCA de El Salvador	
FECHA DE ENSAYO	04/07/2014	

TABLA DE RESULTADOS

BGS	100% 6.3-4.75 mm	50/50 Bend promedio	100% 9.5-6.3 mm
2.612	376.884	<b>443.7</b>	510.516

DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA CRS-2PE					
Peso específico del agregado (g/cm <sup>3</sup> )		2.612	Diámetro del disco (cm)		0.30
Determinación	Cantidad de emulsión	Peso inicial	Peso final	Peso del disco	perdida
	ml	gr.	gr.	gr.	%
1	83	498.4	410.3	54.7	17.68
2	84	498.4	434.5	54.7	12.82
3	85	498.4	490.2	54.7	1.65
4	86	498.4	485.4	54.7	2.61
5	87	498.4	472.9	54.7	5.11

OBSERVACIONES: La cantidad adecuada de emulsión CRS-2PE para colocar en el fieltro de 0.3 cm de diámetro es de 85 ml ya que se obtuvo menos pérdida de agregado por lo tanto es la cantidad adecuada.

### ANEXO 14 Control de calidad de la emulsión asfáltica.

CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS					
PROYECTO:	DISEÑO DE DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSION ASFALTICA MODIFICADA				
LABORATORIO:	LABORATORIO DE ASFALCA				
FECHA:	11 DE JULIO DE 2014				
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSION ASFALTICA:	EMULSION CATIONICA DE ROMPIMIENTO RAPIDO MODIFICADA CON POLIMERO (CRS-2PE)				
REQUERIMIENTO	ESPECIFICACION DE ENSAYO	MINIMO	MAXIMO	RESULTADO	
CONSISTENCIA					
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 50°C	ASTM D 244	40	----	40.00	
COMPOSICION					
CARGA DE PARTICULA	ASTM D 7402	---	---	POSITIVA	
RESIDUO POR EVAPORACION (% EN PESO)	ASTM D 6934	65	---	65.14	
RESIDUO POR DESTILACION (% EN PESO)	ASTM D 6997	65	---	65.44	
ESTABILIDAD					
PRUEBA DE TAMIZADO (% EN PESO)	ASTM D 6993	---	0.1	0.01	
PRUEBA DE ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO A 24h (% EN PESO)	ASTM D 6930	---	1	0.43	
DENSIDAD DE LA EMULSION (gr/ml)	ASTM D 70	---	---	1.02	
EXAMINACION DEL RESIDUO					
PENETRACION 25°C, 100g	ASTM D 5	30	100	42.00	
DUCTILIDAD 25°C	ASTM D 113	40	---	48.00	
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	ASTM D 36	45	---	58.00	

**ANEXO 15 fotografías de pruebas de laboratorio de determinación del porcentaje de desgaste (ASTM C131)**



**Cuarteo de agregado**



**Tamizado de agregado.**

**ANEXO 16 fotografías, peso y colocación en máquina de los angeles de la muestra  
(ASTM C131)**





**ANEXO 17 fotografías gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM C 127)**

**Peso y Secado de la Muestra**



**ANEXO 18 fotografías, peso de muestra superficialmente seca y peso de muestra en tanque. (ASTM C127)**





**ANEXO 19 fotografías, prueba para análisis granulométrico (ASTM C136)**

**Muestra y tamizado**



**ANEXO 20 fotografías, prueba estándar para densidad aparente (peso unitario) y vacíos en el agregad (ASTM C 29).**



### **ANEXO 21 índice de lasjas (norma bs 812)**

Pasado de muestra de agregados por la abertura del molde.



### **ANEXO 22 fotografías, Prueba de la placa.**

Cuarteo de agregado.





**ANEXO 23 fotografías, diseño de tratamiento (Método de Kearby y Método de Mclod)  
(cuarteo de grava y calentamiento en baño maría de emulsión a utilizar)**



**ANEXO 24 fotografías, de aplicación de primera capa de emulsión y agregado**



**Primera capa de emulsión y sobre ella primera capa de agregado de 3/8”**



**Primera capa de doble tratamiento aplicado**



**ANEXO 25 fotografías de segunda aplicación, seguida de su compactación.**



**Segunda capa de emulsión**



**Segunda capa de agregado  $\frac{3}{4}$ " sobre segunda capa de emulsión para luego ser compactada.**

**ANEXO 26 fotografías, prueba de desempeño. (ASTM D7000) peso de emulsión y elaboración de especímenes.**



**Peso de emulsión para colocación en papel asfalto.**



**Colocación de emulsión sobre papel asfalto y agregado sobre emulsión.**



**ANEXO 27 fotografías, ensayo en máquina de barrido, prueba (ASTM D7000)**

