

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTOS
SUPERFICIALES DOBLES PARA CAMINOS DE BAJO
VOLUMEN DE TRÁNSITO MEDIANTE LOS
MÉTODOS DE LA DIMENSIÓN MÍNIMA PROMEDIO
Y TEXAS DOT EN EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

JOSUÉ ANANÍAS HERNÁNDEZ GARCÍA.

KARLA MARÍA ROSALES GALDÁMEZ.

WILFREDO TRIGUEROS LLANES.

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2016.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**“METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES PARA CAMINOS
DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO MEDIANTE LOS
MÉTODOS DE LA DIMENSIÓN MÍNIMA PROMEDIO Y
TEXAS DOT EN EL SALVADOR”**

Presentado por :

JOSUÉ ANANÍAS HERNÁNDEZ GARCÍA.

KARLA MARÍA ROSALES GALDÁMEZ.

WILFREDO TRIGUEROS LLANES.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. FRANKLIN ENRIQUE BARRERA

ING. MIGUEL ANGEL DÍAZ

San Salvador, Junio 2016.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. FRANKLIN ENRIQUE BARRERA

ING. MIGUEL ANGEL DÍAZ

AGRADECIMIENTOS.

Queremos agradecer principalmente a **Dios** por ser el máximo guía en nuestro trabajo de graduación, por acompañarnos en todo el camino para conquistar esta meta y demostrarnos que sin Él este logro no lo hubiésemos conseguido.

A la **Universidad de El Salvador**, por ser nuestra alma mater, por ser la fuente de conocimiento desde el inicio hasta el final y por formarnos como profesionales con principios y valores.

Agradecimientos especiales a los **Ingenieros Víctor Orellana y Marlon Cárcamo** por ser los precursores y sembrar la semilla para iniciar la investigación sobre el tema.

Al **Ingeniero Mauricio Valencia**, por ser un amigo, docente y mentor incondicional, por brindarnos su apoyo, confianza y conocimientos en todo el proceso de graduación.

Al **Ingeniero Dilber Sánchez**, por ser el docente y un gran amigo que se encargó de transmitirnos sus conocimientos teóricos y prácticos, por guiarnos y aceptar ser nuestro asesor en nuestro trabajo de graduación.

Al **Ingeniero Miguel Angel Díaz**, por aceptar ser uno de nuestros asesores externos, por brindarnos sus conocimientos y el tiempo necesario a pesar de sus labores cotidianas.

Al **Ingeniero Franklin Enrique Barrera**, por ser nuestro asesor externo y brindarnos todos sus conocimientos en el tema, por su ayuda incondicional, por sus consejos, regaños y felicitaciones durante todo el proceso del trabajo de

graduación y por ser la persona que se encargó de facilitarnos la entrada a los laboratorios de ASFALCA.

Al personal del **Laboratorio de ASFALCA**, por el apoyo técnico y la amabilidad con la que siempre nos recibieron.

Al **Ingeniero Luis Felipe Rosales** y la Empresa Constructora **COSAMI S.A de C.V**, por haber donado los materiales, equipo y personal para la construcción del tramo de prueba, realizado en el Departamento de San Miguel.

Agradecimientos a todos nuestros **amigos** y **amigas** por ser parte de este gran logro alcanzado, por estudiar junto a nosotros compartiendo largas noches de desvelo, por acompañarnos en esta gran aventura y compartir con nosotros alegrías, tristezas, llantos y aflicciones en cada una de las materias cursadas, por apoyarnos y animarnos a continuar cuando sentíamos que no podíamos más a todos ellos Muchas Gracias.

Un agradecimiento especial a nuestros amigos **Jhonny Josué Gámez Bolaños**, **Carlos David Guzmán Rodríguez** y **Francisco Alberto Renderos Ferrer** por su ayuda en ciertas actividades dentro de nuestro trabajo de graduación.

Josué Ananías Hernández García.

Karla María Rosales Galdámez.

Wilfredo Trigueros Llanes.

DEDICATORIA

Agradezco:

A Dios Todopoderoso por iluminar mi mente, brindarme salud y la fortaleza necesaria para sobrellevar los obstáculos presentados a lo largo de mi carrera.

A MIS PADRES: Juan Carlos Hernández Alvarado y Josefa García Ortiz, a quienes dedico el triunfo alcanzado. Gracias por su sacrificio, amor y cuidado; lo que soy se los debo a ustedes.

A MIS HERMANOS: Juan Carlos Hernández García, Deysi Claribel Hernández García, Priscila Valeria Hernández García, Carlos Isai Hernández García, Juan Francisco Hernández García, Daniel Jonás Hernández García, por haberme hecho sentir que en ellos siempre encontraría apoyo incondicional, moral, espiritual y económico. Este triunfo les pertenece también.

A MI FAMILIA: A mi tía Carmen Ortiz, a mi primo José Zacarías García.

A MI NOVIA: Katherine Francisca Vigil Espinal por el amor, cuidado, apoyo moral y espiritual.

Josué Ananías Hernández García.

DEDICATORIA

Primeramente a **DIOS TODOPODEROSO**, Gracias Papito Jesús, por regalarme la inteligencia para afrontar todos los retos, la paciencia en los momentos difíciles, su protección en todo el camino y por demostrarme diariamente su bondad, amor y su misericordia, al **ESPÍRITU SANTO** por darme la vida y bendiciones abundantes, entre ellas este logro, por darme la fortaleza y discernimiento para terminar mis estudios y por tener misericordia de mí. A mi **MAMITA MARIA**, Gracias por ser mi madre celestial e intercesora por excelencia, por auxiliarme, por protegerme con su manto, por acompañarme y cuidarme desde el cielo en todos los momentos de mi vida.

A mis **PADRES: Angel Francisco Rosales Muñoz y María Victorina Galdámez de Rosales**, primeramente gracias papás porque desde que por primera vez que me llevaron de la mano al kínder me empezaron a regalar la herencia más grande que puedo recibir y hoy se culmina de sus manos, enseñándome en el camino que se puede ir cuesta arriba y se puede conquistar la cima, que es difícil pero no imposible, este logro sin duda no se hubiese logrado sin ustedes, gracias papás por sus esfuerzos, sacrificios, consejos, regaños y apoyo incondicional en mi vida, por creer en mí, MIL GRACIAS por regalarme la oportunidad de estudiar, por regalarme su amor incondicional, por exigirme más de lo que yo quería dar y así demostrarme que soy capaz de alcanzar más de lo que me propongo, y por no soltarme de la mano para seguir adelante en los caminos difíciles.

A mis hermanos **Silvia Verónica, Evelyn Vanessa y Angel Francisco**: Por brindarme todo su amor, por ser mis primeros amigos, mis cómplices, mis pilares para apoyarme cuando sentía que ya no podía, por ser mis desmotivadores pero mis más grandes animadores, por tenerme paciencia y por disfrutar junto a mí todas las etapas que llevo alcanzando este gran logro.

A mis **ABUELITOS: Miguel Angel Rosales, Rosa Marina de Rosales y Lucia Otilia Muñoz**, por aconsejarme, creer en mí y darme su apoyo incondicional en toda mi formación académica.

A mis **Tíos y tías, primos y primas, amigos y amigas, y a toda mi familia**, por aportar en mi formación académica consejos, apoyo incondicional, ánimos para seguir adelante sin desmayar, por creer en mí, por enseñarme a luchar por las metas que nos proponemos y brindarme todo su amor.

A mis compañeros del trabajo de graduación **Wilfredo Trigueros y Ananías Hernández**. Por su confianza, amistad, comprensión, cariño, paciencia y ayuda para culminar con éxito el proyecto que iniciamos con muchas ganas, y hoy vemos finalizado, fue un gusto compartir con ustedes esta aventura llena de muchas historias para recordar. ¡¡¡¡¡LO LOGRAMOS AMIGOS!!!!!!.

“El hombre nunca sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta, pero si el objetivo parece difícil no cambies de objetivo; busca un nuevo camino para llegar a conquistarlo”. Henry Ford.

Karla María Rosales Galdamez.

DEDICATORIA

A Dios: Por darme inteligencia, sabiduría, paciencia, por demostrarme que siempre ha estado a mi lado en cualquier momento y por darme las fuerzas necesarias en los momentos más difíciles, este logro es gracias a su gran amor y misericordia, y todo lo que soy es gracias al poder de Él.

A mi mamá Rosa Mélida Llanes viuda de Trigueros: Por todo el sacrificio que ha hecho por sacarme adelante, por sus consejos, regaños y saber que siempre ha estado a mi lado en todo momento, por confiar y creer en mi aun cuando el camino se volvió difícil, este triunfo también es de usted mamá y estaré eternamente agradecido por los valores que me inculcó y enseñarme que todo en la vida cuesta que nada se gana fácilmente.

A mi tía María de Los Ángeles Llanos: Por todo el apoyo que me ha dado, por ser como mi segunda mamá, por sus consejos y esas palabras de aliento para seguir adelante cuando todo se veía difícil, gracias tía por darme fuerzas para seguir adelante en esas noches de desvelo de estudio y demostrarme que siempre estará a mi lado en cualquier momento.

A mis hermanos Willy Elenilson Trigueros Llanes y José Roberto Trigueros Llanes: Por estar siempre pendiente de mí y apoyarme en todo momento, por haber aportado su granito de arena en este proceso que ha sido largo pero con su ayuda se ha hecho realidad.

A mis primos Marco Tulio Llanes Llanos y Erick Ernesto Llanes Llanos: Por el apoyo recibido de ambos no solo en los momentos de necesidad si no en

cualquier momento y por darme aliento para seguir adelante y conseguir este logro.

A mi tía Delmy Yanira Yanes: Por sus consejos, regaños y darme aliento para seguir adelante en todo momento.

A mis primas Katherine Fabiola Driotis Yanes y Jaqueline Angélica Driotis Yanes: Por apoyarme en todo momento y saber que siempre estarán a mi lado en cualquier momento de la vida.

A mis compañeros de trabajo de graduación Karla María Rosales Galdámez y Josué Hernández: Por ser buenos amigos y compañeros en el proceso de estudio y en este proceso de graduación, por estar juntos en esas noches de desvelo y aguantarme cuando me molestaba y no compartía sus criterios, gracias compañeros por estar juntos en este proceso y seguir siendo amigos aun con todas las diferencias.

Wilfredo Trigueros Llanes.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	xxiii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	26
1.1 ANTECEDENTES.....	26
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	30
1.3 OBJETIVOS.....	31
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
1.4 ALCANCES.....	33
1.5 LIMITACIONES.....	34
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	35
CAPÍTULO II: TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.....	37
2.1 Generalidades sobre los tratamientos superficiales.	37
2.2.1 Definición de tratamientos superficiales.....	37
2.2 Tipos de tratamientos superficiales.	38
2.2.1 Tratamiento superficial simple.	38
2.2.2 Tratamiento Superficial doble.	38
2.2.3 Tratamiento superficial múltiple	39
2.3 Funciones de los tratamientos superficiales.	40

2.4	Materiales que intervienen en el diseño de tratamientos superficiales dobles.....	42
2.4.1	Agregados.....	42
2.4.1.1	Definición.....	42
2.4.1.2	Incidencia de los agregados por sus características externas:...	43
2.4.1.3	Incidencia de los agregados por sus características Internas.....	51
2.4.2	Emulsiones Asfálticas.....	54
2.4.2.1	Definición.....	54
2.4.2.2	Composición de las emulsiones asfálticas.....	55
2.4.2.3	Clasificación de las emulsiones.....	58
2.4.2.4	Ventajas que ofrecen las emulsiones.....	60
2.4.2.5	Cuidados que deben tomarse en el uso de emulsiones asfálticas.....	61
2.4.2.6	Tipos de emulsiones utilizadas para los tratamientos superficiales.....	62
2.4.2.7	Porqué se deben de utilizar emulsiones modificadas para los proyectos de El Salvador.....	62
2.4.2.8	Ensayos a las emulsiones.....	63
2.4.2.9	Pruebas al residuo por evaporación.....	67

CAPÍTULO III: PROCESO DE DISEÑO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.....	71
3.1 Metodología de seguimiento para la comparación de resultados de los diseños elaborados para los tramos de San Miguel y Suchitoto.	71
3.2 Diseño de tratamientos superficiales.....	72
3.3 Métodos de Diseño para tratamientos superficiales dobles.....	76
3.3.1 Dimensión mínima promedio.	76
3.3.2 Texas DOT.....	80
3.4 Resultados de laboratorios a los agregados.....	85
3.5 Resultados de ensayos realizados a la emulsión.	86
3.6 Diseños mediante el Método de la Dimensión Mínima Promedio.	91
3.6.1 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para agregado de la CANTERA EL CASTAÑO.	91
3.6.2 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para agregado de la CANTERA LA HULERA.....	99
3.6.3 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para combinación de agregados.	105
3.6.1 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para el tramo de Suchitoto.	111
3.7 Diseños mediante el Método Texas DOT.....	117

3.7.1	Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para agregado de la Cantera El Castaño.....	117
3.7.2	Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para agregado de la Cantera La Hulera.....	121
3.7.3	Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para la combinación de agregados.....	125
3.8	Tablas Comparativas de los diseños por los Métodos de la Dimensión Mínima Promedio (DMP) y el Método de Texas DOT (TxDOT).	129
CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO, ELABORACIÓN DE LISTA DE CHEQUEO (“CHECK LIST”), PROBLEMAS, SOLUCIONES Y EVALUACIONES DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.....		132
4.1	Proceso Constructivo.....	132
4.1.1	Equipos empleados en la construcción de los tratamientos superficiales dobles.....	132
4.1.2	Proceso de construcción para los tratamientos superficiales dobles.....	140
4.2	Construcción del tramo de prueba en San Miguel.....	145
4.2.1	Localización del tramo de prueba.....	145
4.2.2	Proceso de construcción.....	146
4.3	Construcción del proyecto en Suchitoto.....	149
4.3.1	Localización del proyecto.....	149

4.3.2	Proceso de construcción.	149
4.4	Comparación de los tramos construidos en San Miguel y Suchitoto. ...	152
4.4.1	Diseño.	153
4.4.2	Proceso constructivo.	154
4.5	Problemas y soluciones de los tratamientos superficiales dobles.	155
4.5.1	Problemas.	155
4.5.1.1	Deterioro temprano en los tratamientos superficiales.	156
4.5.1.2	Deterioro por el tiempo de construcción de los tratamientos superficiales.	159
4.5.1.3	Otras causas del deterioro.	160
4.5.2	Soluciones.	161
4.5.2.1	Desprendimiento, pérdida de agregados y peladuras.	161
4.5.2.2	Exudación.	162
4.6	Evaluación del tratamiento superficial doble.	162
4.7	Elaboración de lista de chequeo (“check list”).	167
4.7.1	Usos de un check list.	167
4.7.2	Aspectos a verificar por medio del check list.	168
4.7.3	Check list de campo.	169
	CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.	174
5.1	CONCLUSIONES	174

5.2 RECOMENDACIONES	176
BIBLIOGRAFÍA.....	178
ANEXO A	180
ANEXO B	186
ANEXO C	192
ANEXO D	198
ANEXO E	204
ANEXO F.....	210

INDICE DE FIGURAS

Imagen 2.1 Tratamiento superficial simple.....	38
Imagen 2.2 Tratamiento superficial doble.	39
Imagen 2.3 Tratamiento superficial múltiple.....	39
Imagen 2.4 Índice de lajas o Índice de Flakiness	46
Imagen 2.5 Aplicación de Tratamiento Superficial con agregado bien graduado.	49
Imagen 2.6 Aplicación de tratamiento superficial mal graduado.....	49
Imagen 2.7 Sección transversal de un tratamiento superficial mal graduado. ...	50
Imagen 2.8 Sección transversal de un tratamiento superficial bien graduado. ...	50
Imagen 2.9 Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.....	64
Imagen 2.10 Ensayo de estabilidad de almacenamiento.	65
Imagen 2.11 Ensayo Prueba de Tamiz.	66
Imagen 2.12 Ensayo de penetración.	67
Imagen 2.13 Ensayo de ductilidad.	68
Imagen 2.14 Ensayo de recuperación Elástica.	68
Imagen 2.15 Ensayo de solubilidad en tricloroetileno.	69
Imagen 3.1 Relación del porcentaje de embebido contra profundidad promedio del agregado en pulgadas para determinar la cantidad de asfalto, Seal Coat and Surface Treatment Manual.	83
Imagen 4.1 Distribuidor de Asfalto.	135
Imagen 4.2 Distribuidor de Agregados.....	136

Imagen 4.3 Compactador Neumático.....	137
Imagen 4.4 Compactadores de tambor de acero o rodos lisos de acero.....	138
Imagen 4.5 Barredoras Mecánicas.	139
Imagen 4.6 Camiones de Volteo.....	140
Imagen 4.7 Limpieza de la Base.....	141
Imagen 4.8 Riego de Emulsión Asfáltica.....	141
Imagen 4.9 Aplicación de la distribución de agregados.	142
Imagen 4.10 Compactación con rodillo liso.....	142
Imagen 4.11 Junta Transversal.....	143
Imagen 4.12 Junta Longitudinal.	144
Imagen 4.13 Barrido del exceso de agregado.....	144
Imagen 4.14 Señalización.....	145
Imagen 4.15 Limpieza de la base.	147
Imagen 4.16 Aplicación de emulsión para la primera capa de 3/4".	147
Imagen 4.17 Aplicación de emulsión para la segunda capa de 3/8".....	147
Imagen 4.18 Aplicación de agregado para la primera capa de 3/4".	148
Imagen 4.19 Aplicación de agregado para la segunda capa.....	148
Imagen 4.20 Compactación de la primera capa del tratamiento superficial.	148
Imagen 4.21 Compactación de la segunda capa del tratamiento superficial. ..	148
Imagen 4.22 Limpieza de la base.	150
Imagen 4.23 Aplicación de emulsión para la primera capa de 3/4".	150
Imagen 4.24 Aplicación de emulsión para la segunda capa de 3/8".....	150

Imagen 4.25 Aplicación de agregado para la primera capa de 3/4".	151
Imagen 4.26 Aplicación de agregado para la segunda capa de 3/8"	151
Imagen 4.27 Compactación de la primera capa del tratamiento superficial doble.	151
Imagen 4.28 Compactación de la segunda capa del tratamiento superficial doble.	151
Imagen 4.29 Limpieza del exceso en la primera capa del tratamiento superficial doble.....	152
Imagen 4.30 Limpieza del exceso en la segunda capa del tratamiento superficial doble.....	152

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Composición de las emulsiones asfálticas.	58
Tabla 2.2 Diferentes tipos de emulsiones asfálticas.....	60
Tabla 3.1 Parámetros de diseño aplicadas en las metodologías de Tratamiento Superficial.....	74
Tabla 3.2 Factor de desperdicio.....	77
Tabla 3.3 Factor T de corrección por nivel de tráfico.	79
Tabla 3.4 Factor S de corrección por textura superficial, utilizado en Minnesota.	79
Tabla 3.5 Corrección por Tráfico.....	83
Tabla 3.6 Condiciones Pavimento superficie existente.	84
Tabla 3.7 Tabla resumen de los agregados.	85
Tabla 3.8 Ensayos de Composición.....	86
Tabla 3.9 Ensayos de Consistencia.....	87
Tabla 3.10 Ensayos de Estabilidad.....	88
Tabla 3.11 Ensayos de Examinación del Residuo Asfáltico.	90
Tabla 3.12 Comparación de diseños Cantera El Castaño.....	129
Tabla 3.13 Comparación de diseños Cantera La Hulera.....	130
Tabla 3.14 Resultados de diseño de la Cantera de Suchitoto.....	130
Tabla 4.1 Dosificación utilizada para el Tramo de Prueba.	146
Tabla 4.2 Dosificación utilizada para el proyecto de Suchitoto.....	149
Tabla 4.3 Tabla comparativa de Diseño entre San Miguel y Suchitoto.	153

Tabla 4.4 Primera evaluación de condición de tratamiento superficial doble. .163

Tabla 4.5 Segunda evaluación de condición de tratamiento superficial doble.164

Tabla 4.6 Tercera evaluación de condición de tratamiento superficial doble...166

INTRODUCCIÓN GENERAL.

El presente trabajo de investigación nos introduce al diseño y procesos constructivos de tratamientos superficiales dobles para caminos de bajo volumen de tránsito, mediante los métodos de la Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT, ambos métodos se fundamentan principalmente en las características propias de cada agregado y la utilización de una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, además que cada capa se diseña individualmente.

El desarrollo de la investigación se realiza en cinco capítulos.

El Capítulo I contiene los antecedentes, planteamiento del problema, justificaciones, objetivos, alcances, limitaciones y delimitaciones, elementos que forman la base académica del trabajo de graduación.

El Capítulo II es la presentación del marco teórico en el cual se desarrollan los conceptos básicos de los materiales utilizados en el diseño de los tratamientos superficiales dobles, (agregados pétreos y emulsión asfáltica).

El Capítulo III explica los diseños de los tratamientos superficiales dobles mediante los métodos de la Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT, además la presentación de los resultados de laboratorios realizados a los agregados y la emulsión asfáltica, y se explica brevemente otras metodologías de diseño para tratamientos superficiales dobles

En el Capítulo IV se desarrollan los pasos para el proceso constructivo de los tratamientos superficiales dobles, se presenta la construcción del tramo de prueba construido en el departamento de San Miguel, y se le da seguimiento al

proyecto de tratamiento superficial doble construido en el Municipio de Suchitoto, además se exponen diferentes problemas y soluciones que se pueden presentar en los tratamientos superficiales dobles y se realiza la evaluación del tramo de prueba en San Miguel, concluyendo con un formato para la lista de chequeos o check list para la construcción de un tratamiento superficial doble.

Finalmente en el Capítulo V se dan a conocer las conclusiones de la investigación, además de algunas recomendaciones que se deben tomar en cuenta para darle seguimiento al estudio de los tratamientos superficiales, o para futuras investigaciones acerca del tema.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES

En el transcurso de los años, la construcción de caminos y vías de comunicación de bajo volumen de tránsito han sido de gran importancia para mantener la conectividad del transporte, por lo cual se vuelve imperativo investigar tecnologías que satisfagan las necesidades de los usuarios, sin incurrir en altos costos y conservando las características propias de cada vía. Es así como surgen los tratamientos superficiales, utilizados comúnmente para mejorar las características de la superficie de rodadura en caminos de bajo volumen de tránsito.

El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a finales del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1869 y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos, por tanto los orígenes de los tratamientos superficiales se remontan a la década de 1870 en Europa con la introducción del alquitrán para reducir el polvo en los caminos de baja intensidad vehicular, más tarde se añadió piedra granular a dicha sustancia, dándole así un mejor agarre a las calles en las cuales era utilizado.

Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la "Era del automóvil y la construcción de carreteras". Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante

como los agregados a mano, apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual. La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces de macadam a base de agua provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903.

Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo: regadores de asfalto a presión, distribuidores de piedra, aplanadoras vibrantes, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc. Las mezclas asfálticas en sitio cambiaron niveladoras y rastras por motoniveladoras y plantas móviles o fijas.

Para inicios del siglo XX la actividad agrícola e industrial en El Salvador crecía y para su desarrollo se volvió necesario contar con una red vial que se adecuara a las necesidades agrícolas. Para ese entonces las calles de los diferentes poblados eran de tierra y las principales se reforzaban con piedras ya que el transporte utilizado eran los carretones y caballos. Ya con la modernización de la industria y la llegada de los automotores allá por 1915, fue necesario aplicar técnicas de conservación debido a factores climáticos y repetición de cargas por el tránsito.

Inicialmente las carreteras no tenían ningún tratamiento, luego se construyeron con tratamientos superficiales como capa de rodadura, luego apareció el pavimento tipo Macadam, el cual se conserva en muchas de ellas y a su vez fue sustituido por el concreto asfáltico. El concreto asfáltico se usó en un principio en

las calles de la capital (San Salvador), para luego aplicarlo en las carreteras del país.

Durante las décadas de los cuarentas y cincuentas surge la construcción de una cantidad de caminos de bajo volumen de tránsito, que en su mayoría fueron revestidos con tratamientos superficiales dobles, triples o macadam, dadas las pocas exigencias a las que estos pavimentos eran sometidos y debido a que el flujo vehicular de la época era liviano. Dentro de los trabajos más importantes realizados en dicha época se encuentran algunos tramos en la CA-01, CA-02 y la carretera hacia Sonsonate, los cuales duraron entre 20 y 30 años, siendo la década de los setentas cuando la red vial nacional colapsó, durante el desarrollo del conflicto armado en el país las inversiones por parte del gobierno en las vías de comunicación se vieron mermadas en gran manera, lo que trajo como consecuencia que las carreteras y los caminos de baja intensidad de tránsito sufrieran grandes daños. Al finalizar la guerra y a medida que el país comenzó a estabilizarse, fue necesario que la red vial fuese intervenida.

Ese período de pausa provocó que la mayoría de los ingenieros civiles expertos en la aplicación de los tratamientos superficiales simples o dobles emigraran a otros países, envejecieron o fallecieron quedándose las empresas constructoras sin los profesionales expertos. Una consecuencia adicional, fue que las empresas dejaron de invertir en la tecnología (maquinaria y equipo) necesaria para construir los tratamientos superficiales.

Actualmente se desea reforzar el uso de los tratamientos superficiales en el país prueba de ello es que en los últimos cinco años se han aplicado en muchas vías de bajo volumen de tránsito del país, en los siguientes proyectos:

- Ruta UNI02N CA02E – El Jagüey: Longitud del proyecto 10 kilómetros; aplicación de tratamiento superficial doble, ejecutado en el año 2012.
- Mejoramiento Camino Terciario Lib22s: Lib 05w (Dv. Comasagua – Dv. Lib. 18s (Chiltiupan), Departamento de La Libertad.
- Mejoramiento camino terciario Lib. 31n, tramo san Pablo Tacachico-cantón San Isidro, Municipio de San Pablo Tacachico, Departamento de La Libertad.
- Mejoramiento del camino terciario Cab18e entre Cinquera-Tejutepeque.
- Mejoramiento de Camino Rural CUS 18E, Tramo Suchitoto Cinquera.
- Mejoramiento Camino Rural Cus18e - Cab18e, tramo: Suchitoto – Cinquera, etapa II, (En Ejecucion, Año 2015).
- Mejoramiento Camino rural USU46S: Tramo Tierra Blanca (USU07S – Cantón California – San Hilario – Sitio El Corral – Salinas El Zompopero, Municipio de Jiquilisco, Departamento de Usulután. (Ejecución).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de tener en buenas condiciones los caminos de baja intensidad de tránsito, se vuelve cada día más indispensable para el desarrollo social y económico de las comunidades.

El poco o nulo interés por plantear soluciones técnicas y económicamente viables al tratamiento de este tipo de caminos ha obstaculizado en gran manera dicho desarrollo y una conservación de los existentes.

Las condiciones físicas en las que se encuentran algunas vías de bajo volumen de tránsito en El Salvador, son deficientes, distinguiéndose por su fragilidad y desequilibrio. Con solo recorrer algunas de las vías de baja intensidad vehicular, se puede tener una idea de las dificultades que tiene que afrontar la población para acceder a otros núcleos urbanos o vías principales, por ejemplo grandes capas de polvo en verano, estancamiento de agua, escorrentías superficiales, elevadas pendientes.

La mayoría de caminos dentro de la clasificación de baja intensidad de tránsito, existentes en el país, carecen de un estudio de suelos y un estudio hidráulico; dando como resultado caminos que representan un mayor costo generalizado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Describir los métodos de diseño Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT, y los procesos constructivos para la aplicación de tratamientos superficiales dobles en caminos de bajo volumen de tránsito en El Salvador.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la metodología de diseño por el método de la Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT para la obtención de mejores resultados en la construcción de tratamientos superficiales dobles.
- Establecer criterios que permitan conocer las prácticas adecuadas para la elaboración de diseños de tratamientos superficiales dobles, para la selección de materiales, procedimientos de construcción.
- Realizar una comparación del diseño y proceso constructivo de los proyectos de tratamiento superficial doble a construir en Suchitoto y San Miguel.
- Elaborar una lista de chequeos (“check list”) con la descripción de los procedimientos para la construcción de tratamientos superficiales dobles en El Salvador.

- Realizar evaluaciones del comportamiento al tramo de tratamiento superficial doble, a construir en el departamento de San Miguel, El Salvador.

1.4 ALCANCES

- Realizar un tramo de prueba de 100 metros de longitud y dar seguimiento al proceso constructivo, además evaluar el comportamiento del tratamiento superficial doble ubicado Calle Antigua Hacienda El Sitio en la ciudad y Departamento de San Miguel, El Salvador.
- Dar seguimiento al proceso constructivo del proyecto de Mejoramiento de Camino Rural Cus 18e, tramo: Suchitoto – Cinquera, etapa II.
- La elaboración del diseño superficial doble, se efectuara bajo los métodos de la Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT.
- La aplicación de esta metodología se realizará al tramo de prueba debido a que se cuenta con el apoyo y patrocinio de instituciones interesadas en el tema, para llevar a cabo la construcción.

1.5 LIMITACIONES

- Los ensayos de laboratorio se efectuarán a los agregados provenientes de dos canteras ubicadas en el Oriente del país.
- El diseño se realizará únicamente con los métodos de la dimensión mínima promedio y Texas DOT.
- Las evaluaciones al tramo de prueba se realizaran durante el periodo definido para la presentación del trabajo de graduación con un máximo de 6 meses.
- La falta de material bibliográfico relacionada con el tema de tratamiento superficial doble en El Salvador.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Los tratamientos superficiales dobles han mostrado a lo largo de su historia, ser destacados en su comportamiento y durabilidad dentro de su vida útil, así como también una de las alternativas más utilizadas para la demanda de bajo volumen de tráfico.

Hasta el final de los años 70 del siglo pasado los tratamientos superficiales como capa de rodadura fueron una alternativa de pavimentación, el apogeo de las plantas asfálticas en caliente al inicio del años 90, desplazo la técnica, pero a partir del final de la primera década del siglo XXI organismo internacionales de financiamiento como el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) como una forma de optimizar los recursos, exige la implementación de tratamientos superficiales en caminos de bajo tránsito en los bancos de proyecto que apliquen a la técnica.

El interés principal de esta investigación consiste en proponer alternativas para el mejoramiento del diseño y construcción de los tratamientos superficiales dobles, para optimizar su implementación y uso en El Salvador.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II: TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.

2.1 Generalidades sobre los tratamientos superficiales.

2.2.1 Definición de tratamientos superficiales.

“Los tratamientos superficiales se definen como un riego de ligante, normalmente emulsión asfáltica de rompimiento rápido convencional o modificada, seguido de una cobertura de agregados de tamaño uniforme”¹.

Un tratamiento superficial no tiene capacidad estructural, su capacidad está orientada hacia la funcionalidad. La función principal es proveer una superficie estable y antideslizante en cualquier tipo de clima, siendo además una capa sellante, resistente a la infiltración del agua, que protege las capas subyacentes. Las características principales de un tratamiento superficial son: no agrega resistencia estructural, provee una superficie de rodadura de características similares a las de un pavimento flexible, elimina la emisión de polvo y protege la estructura de la base y sub-rasante (impermeabiliza).

La durabilidad de un tratamiento superficial depende de varios factores, entre ellos: intensidad del tránsito, condiciones del pavimento o base existente, estructura del pavimento existente (espesores y materiales presentes), condiciones climáticas, existencia y estado de los drenajes, materiales utilizados,

¹ Trabajo de Graduación: “Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio”. Natalia Zúñiga García, Costa Rica.

metodología constructiva empleada, control de calidad y maquinaria empleada en el proceso constructivo.

2.2 Tipos de tratamientos superficiales.²

2.2.1 Tratamiento superficial simple.

“Un tratamiento superficial simple se define como una aplicación única de asfalto o emulsión asfáltica a cualquier superficie asfáltica o granular (nueva o existente), seguida de una capa de agregado de tamaño uniforme (variable dependiendo de las condiciones de tránsito esperadas)”, como se muestra en la Imagen 2.1. El espesor de este tratamiento es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del agregado.



Imagen 2.1 Tratamiento superficial simple

2.2.2 Tratamiento Superficial doble.³

“Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y agregado sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del agregado de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio

² Trabajo de Graduación: “Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio”. Natalia Zúñiga García, Costa Rica.

³ Trabajo de Graduación: “Seguimiento de un Doble Tratamiento Superficial para camino de alto tránsito”. Angela Bernardita Queirolo Menz, Chile.

de la capa precedente. El espesor total, es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación”. (Imagen 2.2).

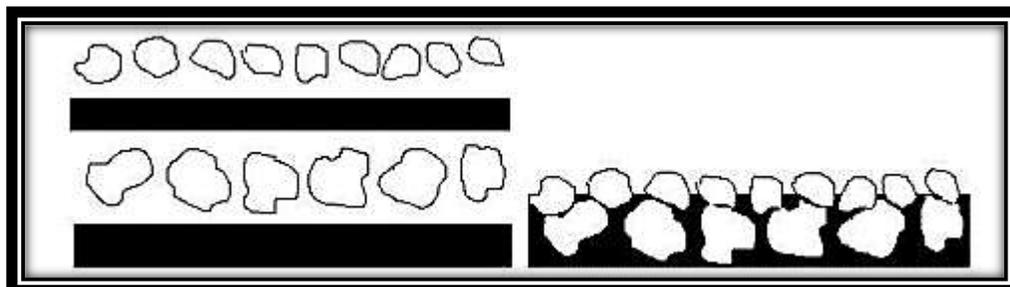


Imagen 2.2 Tratamiento superficial doble.

2.2.3 Tratamiento superficial múltiple

“Un tratamiento superficial múltiple corresponde a dos o más tratamientos superficiales simples colocados uno sobre otro. En tratamientos superficiales múltiples, el proceso se repite para una segunda e incluso una tercera vez, con el tamaño del agregado descendiendo en cada aplicación en aproximadamente la mitad del tamaño de la capa anterior”, como se muestra en la Imagen 2.3.

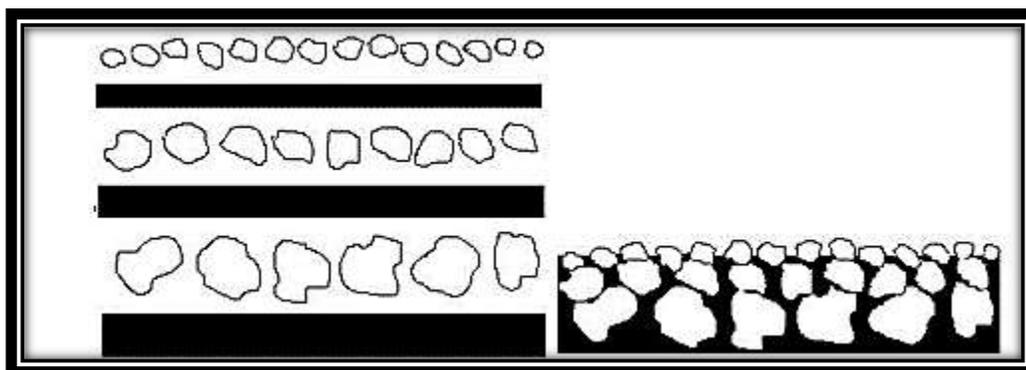


Imagen 2.3 Tratamiento superficial múltiple.

2.3 Funciones de los tratamientos superficiales.

Los tratamientos superficiales se emplean principalmente para:

- Proteger la superficie de la base estabilizada de la acción erosiva y esfuerzos tangenciales producidos por los neumáticos de los vehículos.
- Proteger la estructura del camino de la acción del clima, principalmente de las infiltraciones de agua que podrían comprometer la estabilidad de las capas granulares.
- Asegurar un nivel de fricción mínimo entre neumático y superficie de rodadura.
- Proveer una superficie económica, para todo tipo de climas, para tráfico liviano.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento. Aquellos tratamientos superficiales y pavimentos que se han tornado resbaladizos debido a la exudación del asfalto (Flujo de asfalto hacia arriba en un pavimento asfáltico, resultando en una película de asfalto sobre la superficie), desgaste y pulimiento de los agregados pueden ser tratados con agregados resistentes y angulosos para devolver la resistencia al deslizamiento.
- Proveer una capa temporal para una nueva base. El tratamiento superficial es una cubierta apropiada para una nueva base a utilizarse durante el invierno (condiciones en climas fríos) o para construcción planeada en

etapas. El tratamiento superficial, particularmente un 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 superficial doble o múltiple 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.

Su ejecución en forma eficiente permite la obtención de un tratamiento superficial económico, de construcción simple y durable. Aplicados sobre una base granular, su efecto de impermeabilización permite que ésta conserve su capacidad de soporte adecuada.

Un tratamiento superficial doble, adecuadamente diseñado y construido, proporciona un considerable incremento en durabilidad y resistencia en comparación con un tratamiento simple, obteniéndose además, una mayor impermeabilidad. La mayor resistencia y durabilidad que proporcionan los tratamientos dobles los hacen especialmente adecuados para condiciones de mayor sollicitación de tránsito, pendientes más pronunciadas y climas más severos.

2.4 Materiales que intervienen en el diseño de tratamientos superficiales dobles.

2.4.1 Agregados.

2.4.1.1 Definición.

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas.⁴

“Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte, en forma de partículas graduadas o fragmentadas”.

“La mayoría de los agregados duros, tales como grava, piedra triturada y escoria triturada, pueden usarse exitosamente en tratamientos superficiales. Sin embargo, el agregado seleccionado debe cumplir ciertos requisitos de tamaño, forma, limpieza y propiedades superficiales”⁵.

En lo posible, debe ser de un solo tamaño, de forma cúbica o piramidal, tan limpia como sea posible para asegurar una buena adhesión de asfalto.

⁴ Norma ASTM C - 33

⁵ Manual for Emulsion – Based Chip Seal for Pavement Preservation NCHRP Report 680.

2.4.1.2 Incidencia de los agregados por sus características externas:

2.4.1.2.1 Tamaño.

“El tamaño de un agregado se refiere a la distribución de la granulometría del material. En un tratamiento superficial doble es deseable un tamaño uniforme, la partícula de mayor tamaño no debe medir más de dos veces el diámetro de la más pequeña.

En graduaciones con mucha diferencia de tamaños, las partículas más pequeñas son cubiertas en gran parte por la película de asfalto, mientras que las partículas de mayor tamaño no tienen empotramiento adecuado, por lo que son susceptibles a ser barridas por el tránsito. Una graduación uniforme logra que el tratamiento superficial posea una fijación adecuada y un envolvimiento uniforme, además de lograr distribuir uniformemente las cargas y facilitar la dosificación.

El tamaño máximo del agregado está ligado a las condiciones del tránsito en la zona, así como a la cantidad de emulsión asfáltica que pueda ser aplicada por el distribuidor sin que escurra por la superficie. En el caso de tratamientos superficiales múltiples, las capas superiores deben disminuir su tamaño máximo de manera progresiva⁶.

“Agregados más grandes requieren mayores tasas de aplicación de emulsión con el fin de proporcionar un porcentaje de empotramiento equivalente a agregados más pequeños. Esta tasa de aplicación más alta permite un poco más de

⁶ Trabajo de Graduación: “Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio”. Natalia Zúñiga García, Costa Rica.

tolerancia durante la construcción con respecto a la profundidad de empotramiento en el ligante asfálticos. Además, la aplicación alta de ligante asfáltico proporciona una mayor capacidad de sellado.

Los agregados retenidos entre dos tamaños de tamices adyacentes proporcionan el mejor empotramiento, seguido por agregados que ocupan el espacio entre tres tamaños de tamices adyacentes; estos se describen a menudo como los agregados de uno y de dos bancos, respectivamente. El rendimiento de los tratamientos de uno y de dos tamaños está relacionado con la manera en que los agregados están incrustados en la emulsión. Se utilizan agregados bien graduados, el agregado fino a menudo entra en la emulsión antes del agregado grueso, haciendo que el agregado grueso deba tener menos aglutinante disponible para la adherencia y que resulta en la pérdida de la fracción gruesa y daños al vehículo”⁷.

2.4.1.2.2 Forma.

Al seleccionar un agregado es importante tener en cuenta la forma de sus lados. En el caso de un tratamiento superficial es fundamental observar su lado más plano y su angulosidad. Una partícula siempre tiende a colocarse en su lado plano. En la aplicación del tratamiento superficial, el tráfico que pasa por encima del tratamiento, lentamente estará orientado a la partícula a su lado más plano. Si está es demasiado plana, el agregado se sumerge en la emulsión lo que provoca sangramiento en su aplicación.

⁷ Manual for Emulsion – Based Chip Seal for Pavement Preservation NCHRP Report 680.

El segundo factor a considerar en cuanto a la forma de las partículas es su angulosidad. Las partículas pueden variar desde formas redondas a formas angulares. Un agregado de forma redonda es más susceptible a ser desprendido y tienden a no tener tanta adherencia como los de forma angular. Por otro lado, las formas angulares ofrecen un mejor empaquetamiento entre ellos, mejor trabazón que contribuye a su resistencia al ser laminado y proporciona más área de superficie para la adhesión de la emulsión. Los agregados de forma angular son generalmente preferidos sobre los agregados redondos por estas razones. “La forma cúbica es la más deseable para la construcción de tratamientos superficiales, las partículas planas o alargadas tienden a alinearse sobre sus caras planas y son cubiertas completamente por el asfalto, por lo que se genera una superficie resbaladiza y no uniforme. Por otro lado, los agregados redondos poseen una fricción interna baja, tienden a rodar y ser desplazados por el tránsito”⁸.

La tendencia de un agregado a tener partículas planas es medida por el índice de lajas o índice Flakiness, (Designación Tex-224-F del Departamento de Transporte de Texas de los Estados Unidos de América) Utiliza este método de ensayo para determinar el porcentaje de partículas en un material de agregado grueso que tiene un espesor (dimensión más pequeña) de menos de la mitad del tamaño nominal. (Imagen 2.4).

⁸ Trabajo de Graduación: “Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio”. Natalia Zúñiga García, Costa Rica.

Las caras fracturadas se miden mediante el porcentaje del material que posee una cara fracturada o dos o más caras fracturadas.



Imagen 2.4 Índice de lajas o Índice de Flakiness

La forma de las partículas está determinada por:

- Naturaleza de la roca.
- Proceso de trituración: regularidad en la alimentación.
- Coeficiente de reducción en el proceso de trituración.

Tipos y características principales:

- Redondeadas: menor rozamiento interno, mayor tasa de ligante, escurrimientos.
- Laminares: facilidad de dislocamiento/fragmentación, sobre posición.
- Cúbicas: drenaje superficial deficiente, mayor riesgo de exudación.
- Poliédricas (ideales): Condiciones de fijación superiores, rozamiento interno elevado, mayor resistencia a la fragmentación, rugosidad

(profundidad de textura) adecuada, drenaje superficial apropiado, dosificación fácil.

- Angulosidad: Por lo menos debe tener dos caras fracturadas.

2.4.1.2.3 Gradación.

“La gradación del agregado utilizado en el tratamiento superficial es fundamental para el rendimiento. En general, más de un tamaño del agregado, mejora el potencial de rendimiento. Un agregado de tamaño incluye aquellos materiales retenidos dentro de los dos tamaños de tamices consecutivos. Agregados de dos dimensiones son materiales retenidos entre tres calibres consecutivos. El buen desempeño se debe esperar para todo los tratamientos superficiales con un máximo de dos bancos distintos. La uniformidad se puede cuantificar utilizando el coeficiente de uniformidad (C_u) que se utiliza para el suelo y la clasificación del agregado (ASTM D 2487).

C_u se define como la relación entre el tamaño para el que 60% pasa dividido por el tamaño para el que 10% pasa. Por lo tanto, para un mismo tamaño de material de bancos distintos, puede suceder que el coeficiente de uniformidad (C_u) sea más pequeño o varíe entre los bancos.

Es una característica física fundamental de todo conjunto de partículas, pues influye de forma importante en la resistencia mecánica del mismo. La práctica ha establecido para las diferentes unidades de obra, husos granulométricos en los que debe encontrarse la granulometría o fórmula de trabajo, respecto a la cual

han de fijarse las máximas desviaciones en obra. Suelen usarse granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se usan granulometrías uniformes y discontinuas para tratamientos superficiales dobles”⁹.

La granulometría es el factor que indica la rugosidad y uniformidad del agregado. Los agregados a usar en el tratamiento superficial deben cumplir las granulometrías de la ASTM D448.

Todas las especificaciones de tratamiento superficial requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la granulometría del agregado cumple o no con las especificaciones.

La emulsión ocupará los espacios que quedan entre las partículas de agregado. Un agregado bien graduado proporcionará la menor cantidad de huecos (Imagen 2.5), dejando así poco espacio para la emulsión y que esta pueda instalarse entre los agregados. Para los tratamientos superficiales dobles se recomienda el uso de dos agregados, el de la primera capa será el que determine su espesor, para la segunda capa del tratamiento superficial se usará un agregado de un tamaño

⁹ Manual for Emulsion – Based Chip Seal for Pavement Preservation NCHRP Report 680.

menor al de la primera capa, este será de preferencia el 50% o mayor al tamaño de la primera capa.

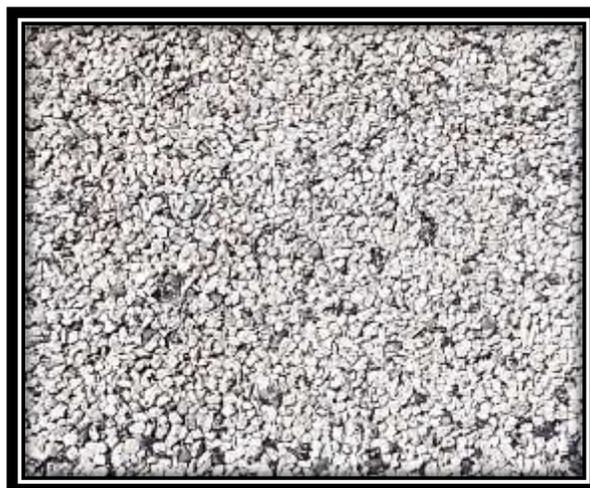


Imagen 2.5 Aplicación de Tratamiento Superficial con agregado bien graduado.

El uso de agregados mal graduados podría ser susceptible a realizar un tratamiento con poca adhesión junto a la emulsión, y requiere un buen control de calidad. (Imagen 2.6)



Imagen 2.6 Aplicación de tratamiento superficial mal graduado.

Al observar la sección transversal de la Imagen 2.7, está claro que la adhesión del ligante total no puede lograrse plenamente en un tratamiento superficial mal graduado. En este caso, el agregado más pequeño está ocupando espacios entre los agregados más grandes y algunos están tendidos en la parte superior de los más grandes sin que haya contacto con la emulsión, que podría dar lugar a daños en los parabrisas.



Imagen 2.7 Sección transversal de un tratamiento superficial mal graduado.

En cambio la sección transversal de la Imagen 2.8, la adhesión y colocación del agregado es completamente deseable, ya que el agregado se está acomodando uno a la par del otro, dejando los espacios para que el agregado de menor tamaño junto al ligante ocupen ese espacio.

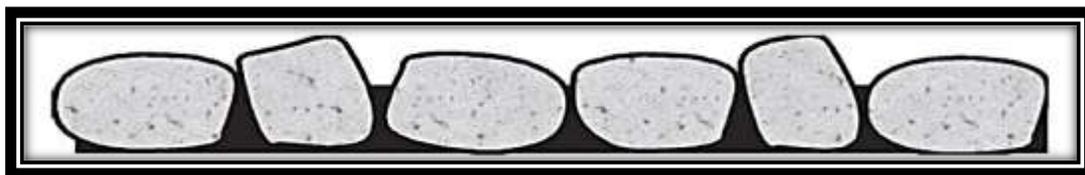


Imagen 2.8 Sección transversal de un tratamiento superficial bien graduado.

2.4.1.2.4 Contenido de humedad.

La humedad de los agregados es determinante para el adecuado desempeño del tratamiento superficial en el proceso constructivo.

Los agregados en la condición saturada y superficialmente seca proporcionan una mejor resistencia al barrido que los agregados secos cuando se utilizan emulsiones asfálticas. Por lo tanto, agregados para la construcción deben ser humedecidos rociando agua sobre el acopio y mezclándolo antes de que comiencen la construcción de los tratamientos superficiales dobles.

El exceso de humedad en la superficie del agregado tiene un efecto similar a un revestimiento. La película de humedad retrasa el rápido rompimiento de la emulsión asfáltica. En condiciones de clima húmedo o frío, la evaporación de la humedad en el agregado se produce lentamente, pero se seca rápidamente en los días cálidos secos. Durante este periodo de secado, el tráfico no controlado puede desplazar el agregado de la superficie. Si la lluvia cae poco después de la construcción, la adhesión entre aglutinante y agregado se ve poco desarrollada, el tráfico puede causar graves daños o incluso la pérdida total de la cobertura global. La presencia de agua en la superficie del agregado, aumenta el retraso en el desarrollo de una adherencia rápida entre el agregado y el aglutinante, si las lluvias o el calor húmedo siguen inmediatamente después de la construcción, deben de hacerse todos los esfuerzos razonables para tener el agregado cubierto.

2.4.1.3 Incidencia de los agregados por sus características Internas.

2.4.1.3.1 Resistencia a la abrasión.

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional, y aun desgaste por abrasión, durante la elaboración, colocación y compactación de los tratamientos

superficiales dobles. El agregado sufre además la abrasión debido a las cargas de tránsito. Deben tener por lo tanto en cierto grado capacidad de resistir la trituración, degradación y desintegración. El ensayo de abrasión o desgaste de Los Ángeles mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral basado en la Norma ASTM C-131.

2.4.1.3.2 Absorción.

Una pequeña porosidad es beneficiosa, porque permite una penetración apropiada del ligante, lo cual aumenta la resistencia al desprendimiento de la película de ligante bajo la acción del agua. Sin embargo un material excesivamente poroso, absorberá ligante asfáltico en exceso.

Es necesario controlar la limpieza de los agregados, para garantizar la adherencia entre las partículas del agregado y el ligante asfáltico, por lo cual las partículas pétreas deben estar exentas de polvo, materia orgánica o cualquier sustancia perjudicial.

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poros dentro de las partículas constituyentes, comparada con la condición seca.

Todos los agregados son porosos, algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en agua determina su porosidad. La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después de la colocación, dejando así menos

asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requieren un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

2.4.1.3.3 Gravedad específica Bulk.

(Norma: ASTM D 70, AASHTO T 228) El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales.

2.4.1.3.4 Peso volumétrico.

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de emulsión en el diseño de tratamientos superficiales dobles.

La forma de los vacíos en los agregados incide en la cantidad de asfalto que ocupara cada uno de los espacios que haya entre las partículas. Cuando el

porcentaje de vacíos es mayor, se requerirá mayor cantidad de asfalto para llenar ese vacío entre los agregados.

La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos.

Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, suelto y golpeado.

2.4.2 Emulsiones Asfálticas.

2.4.2.1 Definición¹⁰.

En general, una emulsión es una dispersión de dos elementos insolubles uno en el otro.

Considerando esto, podemos definir una emulsión desde el punto de vista fisicoquímico, como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscibles entre sí. La emulsión asfáltica es un producto conseguido por la dispersión de una fase asfáltica en una base acuosa, donde las partículas quedan electrizadas, por lo tanto los líquidos que la forman constituyen dos partes que se denominan: Fase dispersa o discontinua y Fase dispersante o continua.

¹⁰ Pavimentos, Texto Guía, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Bolivia.

Existen dos tipos de emulsiones según la concentración de cada una de estas fases: una emulsión directa es aquella en que la fase asfáltica está dispersa en la parte acuosa; en la inversa, la fase acuosa está dispersa en la fase asfáltica. Las del primer tipo son las que más se emplean en la construcción de caminos.

2.4.2.2 Composición de las emulsiones asfálticas.

Una emulsión tiene tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. En algunas ocasiones el agente emulsificante puede contener un estabilizador, en aplicaciones especiales como es el caso de los tratamientos superficiales dobles, dependiendo de las condiciones a las que estará expuesto se agrega un ingrediente más, el polímero.

El propósito es conseguir una dispersión de asfalto en agua, suficientemente estable para el bombeo, almacenamiento prolongado y mezclado. Además, la emulsión deberá romper rápidamente al entrar en contacto con el agregado en el mezclador o después de ser esparcida sobre la superficie de la vía. Una vez curado, el asfalto residual conserva todas las propiedades de adhesividad, durabilidad y resistencia al agua del asfalto usado para producirla.

A continuación se presenta una descripción de los componentes de una emulsión asfáltica:

ASFALTO.

El asfalto es el ingrediente básico de una emulsión y en la mayoría de los casos, representa del 57 al 70 por ciento de la emulsión.

“No existe correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con la cual el asfalto puede emulsificarse”.¹¹ No obstante que la dureza del asfalto puede elegirse a voluntad, la mayor parte de las emulsiones se hacen con asfaltos situados dentro un intervalo de penetración de 100 a 250 décimas de milímetros. En El Salvador los asfaltos usados para producir emulsiones son el AC – 20 y AC – 30 los cuales tienen alrededor de 30 a 50 décimas de milímetros de penetración, ensayo realizado bajo la norma ASTM D 5, es importante aclarar que es deseable producir emulsiones con asfaltos blandos (penetración de 100 a 250 décimas de milímetros que equivalen a cementos asfálticos AC – 5 y AC – 2.5, sin embargo no están disponibles en nuestro medio, y modificarlos lleva costos que encarecerían el producto.) A veces, las condiciones climáticas pueden determinar el uso de un asfalto más blando o más duro. En cualquier caso, es esencial la compatibilidad del agente emulsificante con el asfalto para producir una emulsión estable.

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

¹¹ Pavimentos, Texto Guía, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Bolivia.

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.

AGENTES EMULSIFICANTES

Las propiedades de una emulsión dependen notablemente del producto químico usado como emulsificante. Dicho químico es un agente con actividad de superficie, comúnmente llamado “surfactante”, que determina si la emulsión se clasificará como aniónica, catiónica o no iónica. El emulsificante, también mantiene los glóbulos de asfalto en suspensión estable y permite su rotura oportuna. El surfactante cambia la tensión superficial en la interfase, es decir en el área de contacto entre los glóbulos de asfalto y el agua. Hay gran disponibilidad de emulsificantes químicos en el mercado; sin embargo, deben seleccionarse por su compatibilidad con el asfalto usado.

En la mayor parte de los casos, el agente se combina con el agua antes de introducirlo en el molino coloidal. En otros casos puede combinarse con el asfalto antes de su ingreso al molino.

POLÍMERO

El polímero es un elemento modificador de la emulsión, en forma de Látex, un elastómero o plastómero que tiene la propiedad de modificar el asfalto, evitar la penetración de los rayos ultravioletas, retardando su oxidación, evitando su deterioro prematuro y alargando su vida útil. El polímero se puede agregar (si se

usa látex) a la solución jabonosa antes de ingresar al molino coloidal, es un material de fácil dispersión en agua, o se modifica previamente el asfalto antes de emulsificarlo (si se usa un elastómero o un plastómero).

A continuación en la tabla 2.1 se muestra una relación porcentual del contenido aproximado de los distintos ingredientes que componen una emulsión asfáltica.

Elemento	Emulsión normal	Emulsión modificada con polímeros
Asfalto	40 - 70	65 - 70
Emulsificante	0.2 - 1.5	0.2 - 1.5
Agua	40 - 60	35 - 45
Polímero	0	1 - 4

Tabla 2.1 Composición de las emulsiones asfálticas.

Fuente: Pavimentos, Texto Guía, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Bolivia.

2.4.2.3 Clasificación de las emulsiones.

Según el manual básico de emulsiones asfálticas series MS-19 las emulsiones asfálticas se clasifican de la siguiente manera:

- a) Por su polaridad.

Las emulsiones se clasifican en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónicas. En la práctica, las dos primeras son usadas en la construcción y mantenimiento vial. “Las no iónicas, actualmente no tienen uso, pero en el futuro pueden llegar a tener una mayor utilización con el avance la tecnología”¹². La clasificación de

¹² Pavimentos, Texto Guía, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Bolivia.

aniónica y catiónica se refiere a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. De acuerdo a una ley básica de la electricidad: Cargas del mismo signo se repelen y cargas contrarias se atraen. Cuando dos polos (un ánodo y un cátodo) se sumergen en un líquido a través del cual fluye una corriente eléctrica, el ánodo se carga positivamente y el cátodo negativamente. Si se hace pasar corriente eléctrica a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, estas migraran hacia el ánodo, entonces la emulsión se denomina aniónica. Inversamente, las partículas de asfalto cargadas positivamente se dirigirán al cátodo, por lo cual la emulsión será catiónica. En las emulsiones no iónicas, las partículas de asfalto son neutras, y por consiguiente no serán atraídas por ninguno de los polos.

b) Por la velocidad de rotura.

La ruptura de una emulsión asfáltica es el fenómeno que se produce cuando los glóbulos de asfalto de la emulsión dispersa en el agua, en contacto con el agregado mineral, sufren una ionización por parte del agregado, dando origen a la formación de un compuesto insoluble en agua, que se precipitará sobre el material pétreo.

Las emulsiones de acuerdo a la rapidez con que el asfalto puede llegar a la coalescencia (posibilidad de que dos o más materiales se unan en un único cuerpo) se clasifican según el Instituto del Asfalto en: RS de rotura rápida, MS de rotura media, SS de rotura lenta.

En la tabla 2.2 se presentan los diferentes tipos de emulsiones.

Emulsión Aniónica.	Emulsión Catiónica.
RS – 1	CRS – 1
RS – 2	CRS – 2

Tabla 2.2 Diferentes tipos de emulsiones asfálticas.

Fuente: Propia.

La letra C antes del tipo de emulsión significa catiónica. La ausencia de esta letra, significa aniónica o no iónica. Por ejemplo RS-1 puede ser aniónica o no iónica y CRS-1 es catiónica.

El tipo de aplicación determina además la viscosidad requerida para el producto, por lo tanto las cifras 1 y 2 indican grados de viscosidad baja y alta respectivamente.

De acuerdo a las condiciones climáticas en el entorno de la obra, muchas veces será necesario el uso de emulsiones cuyo residuo asfáltico tenga mayor dureza. Estas se diferencian colocando una letra “h” al final de su denominación cuando la penetración del residuo está entre 40 y 90 décimas de mm.

Además las emulsiones que van acompañadas de la letra P, significa que es una emulsión que ha sido modificada con polímeros.

2.4.2.4 Ventajas que ofrecen las emulsiones.

Las emulsiones asfálticas pueden ser empleadas en todas las capas de un tratamiento superficial doble. Entre las ventajas que ofrecen se pueden señalar las siguientes:

- Para la preparación de las Emulsiones Asfálticas se requiere poca energía, únicamente para diluir asfalto que alimentará el molino coloidal.

- Al sustituir los fluidificantes por agua, se economiza el costo de los derivados de petróleo, con la consiguiente conservación de la energía, durante el proceso de la producción de la emulsión, debido a que no se requiere elevar la temperatura de sus componentes.
- Evitan la polución ambiental, debido a que el proceso de mezcla, se realiza a temperatura ambiente, lo cual evita la emisión de gases contaminantes.
- La preparación de la emulsión a temperatura ambiente evita la oxidación del ligante asfáltico.

2.4.2.5 Cuidados que deben tomarse en el uso de emulsiones asfálticas.

A continuación se mencionan algunos de las precauciones que deben tomarse en el uso de emulsiones asfálticas:

- Se deberá elegir una emulsión compatible químicamente con la naturaleza del agregado mineral.
- La velocidad de ruptura de la emulsión deberá ser la adecuada para permitir una buena cobertura del agregado y un curado más rápido.
- La temperatura de aplicación de la emulsión para tratamientos superficiales se encuentra entre los 50 a 85 grados centígrados.
- En el acopio no se deberán mezclar diferentes tipos de emulsiones, ni con otro material bituminoso.
- Se recomienda hacer recircular el producto, antes de ser empleado.

2.4.2.6 Tipos de emulsiones utilizadas para los tratamientos superficiales.

La emulsión a utilizar en los tratamientos superficiales será una emulsión asfáltica catiónica ya que en la actualidad, alrededor del mundo y en el país son las que se utilizan como componente de los tratamientos superficiales, pero se le añade un polímero, el cual le proporciona las características particulares que se requieren para cada proyecto en especial.

2.4.2.7 Porqué se deben de utilizar emulsiones modificadas para los proyectos de El Salvador.

Particularmente en El Salvador las temperaturas al aire están por encima de 30 grados centígrados, lo que implica que las temperaturas en el pavimento en las horas de mayor temperatura fácilmente están alrededor de los 50 °C. Los asfaltos usados en el país AC – 20 y AC – 30 tienen un punto de reblandecimiento entre 49 y 52 grados centígrados. Si consideramos que el punto de reblandecimiento es la temperatura muy próxima a la frontera donde el asfalto pasa de una condición visco elástica, a una condición de deformación plástica, es decir el asfalto tendrá condiciones que facilitan el cambio de volumen por temperatura, y es propenso que el tratamiento superficial tienda a fluir y se presente fenómenos de exudación que ponen en peligro el desempeño de la aplicación agregado asfalto. Lo anterior se puede probar al realizar ensayos de recuperación de residuo asfáltico por medio de la norma ASTM D 7497, ensayo que se realiza a 60 °C, cabe mencionar que al extraer el residuo asfáltico de la

emulsión por este método, el punto de reblandecimiento en algunos casos apenas aumenta en un grado.

Si antes de emulsificar el asfalto se modifica, fácilmente se aumenta el valor de punto de reblandecimiento en 10 °C, (o se aumenta lo que se requiera) con lo cual se garantiza que el asfalto no tendrá problemas de exudación en uso.

Las emulsiones ofrecen varias ventajas con respecto a otros tipos de materiales asfálticos:

- Pueden ser utilizadas con agregados húmedos, por eso son preferidas.
- No requieren altas temperaturas para una adecuada aplicación.
- Eliminan el riesgo de incendio asociado con asfaltos diluidos.
- Evitan los problemas de degradación de la calidad del aire por uso de asfaltos diluidos.
- Proveen una más rápida retención de los agregados que los asfaltos diluidos.
- Para la mayoría de las situaciones, pueden formularse ajustes a las condiciones existentes y a los agregados disponibles.

2.4.2.8 Ensayos a las emulsiones.

2.4.2.8.1 Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D88).

Mediante la prueba de viscosidad Saybolt Furol se determina el grado de fluidez de la emulsión. Se realiza con un viscosímetro del tipo Furol en el que se determina el tiempo que tarda la emulsión en llenar un matraz aforado de 60 cm³, como se muestra en la Imagen 2.9. Durante el ensayo, la emulsión se encuentra

a 25 °C o a 50 °C, según el tipo de emulsión. Los resultados se presentan en segundos Saybolt Furol (SFS). La viscosidad es un tema de gran importancia ya que incide en la aplicación de campo, ya que emulsiones con baja viscosidad puede derramarse a hacia las cunetas al momento de aplicación, y un manejo de emulsiones con viscosidades altas se tiene que saber tratar con temperaturas de aplicación y aumento de presión en la aplicación.



Imagen 2.9 Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.

2.4.2.8.2 Estabilidad de almacenamiento (ASTM D6997).

La prueba de estabilidad de almacenamiento mide la tendencia de las partículas de asfalto a sedimentarse durante el almacenamiento de la emulsión. Se realiza colocando emulsión en una probeta de 500 mL, como se muestra en la Imagen 2.10, la probeta con emulsión se deja a temperatura ambiente durante 24 horas, posteriormente se extraen muestras de 50 mL de la parte superior e inferior de la probeta y se determina el residuo asfáltico por evaporación, la especificación indica que la diferencia entre ambas muestras no debe de ser mayor al 1%. La

importancia de estas pruebas está relacionada al manejo del producto, ya que una sedimentación de la emulsión en tanque de almacenamiento puede derivar en una emulsión con más bajo residuo asfáltico, al cargar para su aplicación en campo.



Imagen 2.10 Ensayo de estabilidad de almacenamiento.

2.4.2.8.3 Demulsibilidad (ASTM D6936).

La demulsibilidad es una medida de la reactividad de la emulsión. Para determinar el porcentaje de demulsibilidad se le adiciona dioctil sulfosucinato de sodio al 0,8 % a una muestra de emulsión, se decanta la emulsión rota, se lava con agua y se pone en el horno para evaporar el agua aún presente. Posteriormente se calcula el porcentaje de demulsibilidad por deferencia de pesos. Conocer el valor de Demulsibilidad, es un dato que puede servir al ejecutor del tratamiento superficial, ya que puede conocer el cambio de rapidez de un lote de emulsión con respecto a otro, aunque la práctica no se maneja, ya que los

procesos de aplicación de emulsión, agregado y compactación deben de ser en procesos continuos que garanticen la adhesión agregado asfalto.

2.4.2.8.4 Carga de partícula (ASTM D7402).

Mediante el ensayo de tipo de carga se determina si la emulsión es aniónica o catiónica. Se introducen dos electrodos en la emulsión y se hace pasar una carga eléctrica por un tiempo determinado, mediante inspección visual se determina cuál electrodo posee mayor cantidad de asfalto depositado.

2.4.2.8.5 Prueba de tamiz (ASTM D6933).

A través del ensayo para determinar el porcentaje retenido en el tamiz N°. 20 (mostrado en la Figura 2-16) se obtiene la cantidad de muestra que posee un tamaño mayor que 850 micrones, dicho porcentaje debe de ser menor que 0,1%. En este ensayo se pasan 500 mL de emulsión asfáltica a 25 °C a través de la malla N° 20, posteriormente se lava y se seca la malla para determinar la cantidad de asfalto retenido.



Imagen 2.11 Ensayo Prueba de Tamiz.

2.4.2.9 Pruebas al residuo por evaporación.

2.4.2.9.1 Penetración (ASTM D5).

Mediante la prueba de penetración es posible determinar la dureza del residuo asfáltico. El residuo obtenido por destilación se coloca en una cápsula, se introduce en un baño a 25 °C, posteriormente se deja caer una aguja de 100 g durante 5 s y se mide la penetración en décimas de milímetro, el equipo utilizado se muestra en la Imagen 2.12.



Imagen 2.12 Ensayo de penetración.

2.4.2.9.2 Ductilidad (ASTM D113).

El residuo de asfalto obtenido por destilación es colocado en una briqueta y se deja en un baño a 25 °C durante 90 minutos, posteriormente se coloca en un ductilómetro, como el mostrado en la Imagen 2.13, la muestra se elonga a razón de 50 mm/min hasta que se rompa y se determina la distancia a la que se rompió, la cual se define como ductilidad.

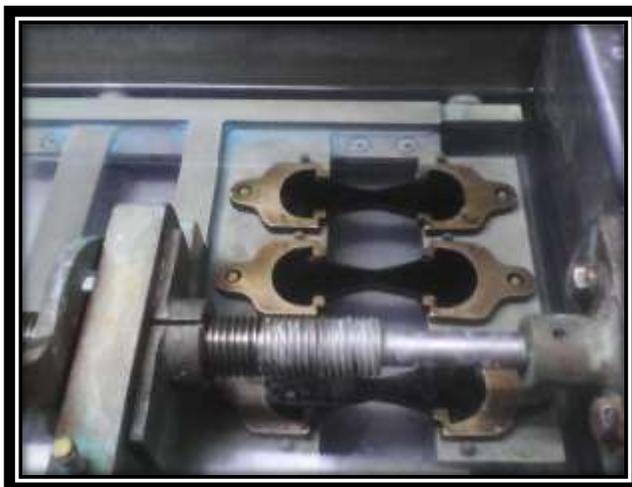


Imagen 2.13 Ensayo de ductilidad.

2.4.2.9.3 Recuperación elástica (ASTM D6084).

Esta prueba tiene por objeto medir la habilidad de un material para recuperarse después de una elongación, o la resistencia a una deformación permanente. Este método es aplicado a asfaltos modificados con polímeros y consiste en aplicar una muestra de asfalto en una capsula de dimensiones conocidas a una temperatura de 25 C, un esfuerzo de torsión con un cilindro en un eje haciendo un giro de 180 y después de 30 minutos se determina el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado (Imagen 2.14).

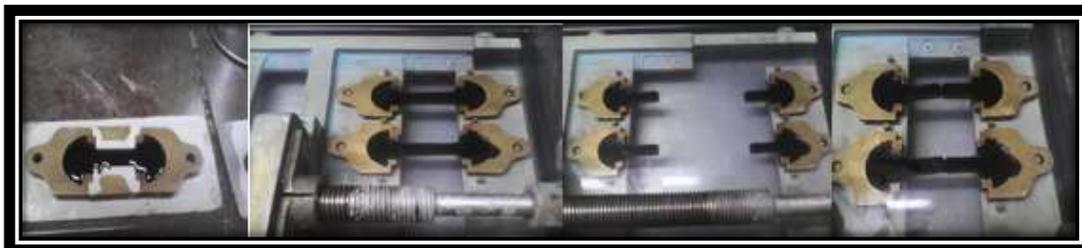


Imagen 2.14 Ensayo de recuperación Elástica.

2.4.2.9.4 Solubilidad en Tricloroetileno (ASTM D2042).

La solubilidad en tricloroetileno se utiliza para medir la pureza del residuo asfáltico. La muestra de asfalto es disuelta en tricloroetileno, posteriormente la disolución se pasa a través de un filtro, se determina cuánto material es retenido por el filtro y se estima el porcentaje de material disuelto (Imagen 2.15).



Imagen 2.15 Ensayo de solubilidad en tricloroetileno.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III: PROCESO DE DISEÑO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.

3.1 Metodología de seguimiento para la comparación de resultados de los diseños elaborados para los tramos de San Miguel y Suchitoto.

La metodología a seguir para la realización del trabajo, se describe en las siguientes etapas:

Etapas 1.

Esta etapa se basó principalmente en la fase teórica, en la que se realizó una investigación bibliográfica acerca de las distintas metodologías de diseño, métodos de ensayo utilizados por cada una de ellas y trabajos realizados anteriormente. Esta etapa de investigación previa se realizó en trabajos finales de graduación y publicaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

Etapas 2.

Durante esta etapa se realizó la caracterización de los materiales, en lo que se refiere al agregado se realizaron ensayos de laboratorio para evaluar características como: tamaño del agregado, peso unitario suelto y gravedad específica, los cuales son parámetros necesarios para la aplicación de las metodologías de diseño teóricas.

Luego de hacer la caracterización de los materiales, se realizó el diseño teórico que consiste en obtener la dosificación de agregados en kg/m^2 y de emulsión en L/m^2 , por medio de las metodologías de diseño. Dichas metodologías de diseño

que se presentan en el documento son: método de la Dimensión Mínima Promedio o McLeod, y método de Texas DOT.

Etapa 3.

Durante esta etapa se realizó el análisis de resultados, en la que se evaluó si los resultados obtenidos son los esperados de acuerdo a las características de los materiales que se tienen a disposición en el país.

Finalmente se realizarán las recomendaciones y conclusiones obtenidas mediante el seguimiento a dos proyectos de tratamiento superficial doble construidos en el país.

3.2 Diseño de tratamientos superficiales.

Existen varias metodologías de diseño para tratamientos superficiales, que se basan en las características de los agregados (granulometría, gravedad específica, peso volumétrico entre otros) y de las condiciones de campo como tipo de base o pavimento existente, volumen de tránsito entre otras, para estimar las cantidades de agregado y de emulsión asfáltica.

La metodología que proporcionó Norman McLeod en 1969, presenta un método de diseño de tratamientos superficiales basado, en parte, en el trabajo realizado por Hanson previamente y además en observaciones y relaciones empíricas. Este método, adoptado en 1979 por el Instituto del Asfalto, toma en consideración que el volumen final del tratamiento superficial es 20% del peso unitario suelto del agregado, por lo que la cantidad de vacíos considerados se reduce y el ligante resultante es menor que la obtenida mediante el método de Hanson.

El método Kearby Modificado, también conocido como el método de Texas DOT, fue presentado en 1974. Este método propone un cambio adicional a la curva de diseño desarrollada por Kearby en 1934. La tasa de aplicación del agregado es determinada en el laboratorio mediante la prueba del tablero, en el que se coloca agregado sobre un área de madera y se determina la cantidad necesaria para cubrirla adecuadamente.

Existen otras metodologías tales como el método Linckenheyl conocido como regla del décimo que toma en cuenta únicamente el tamaño del agregado para la dosificación tanto del agregado como del ligante.

La norma ASTM D 1369 establece dosificaciones de agregado y ligante que dependen del peso unitario suelto y del tamaño del agregado, estas dosificaciones se obtienen mediante tablas de datos obtenidos de dosificaciones típicas utilizadas en distintos proyectos.

En los tratamientos superficiales, los métodos de diseño por lo general utilizan el mismo concepto fundamental de diseño, sin importar el número de capas.

En la siguiente tabla (tabla 3.1), se muestra un resumen de los parámetros que intervienen en el diseño de las distintas metodologías de tratamientos superficiales.

Parámetros de diseño	Metodología de Diseño.				
	DMP	Regla del Décimo.	Hanson	ASTM	Texas DOT
Tamaño de agregado.	X	X	X	X	X
Índice de Flakiness	X		X		
Dimensión Mínima Promedio (DMP)	X		X		
Peso unitario suelto del agregado.	X		X	X	X
Porcentaje de vacíos en el agregado suelto.	X				
Volumen de tránsito.	X		X		X
Condición de la superficie existente.	X	X	X		X
Gravedad específica del agregado.	X		X		X
Absorción del agregado.	X				
Contenido de asfalto residual.	X	X	X	X	X
Condiciones climáticas.		X			X
Desperdicio.	X	X	X		

Tabla 3.1 Parámetros de diseño aplicadas en las metodologías de Tratamiento Superficial.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

En cuanto a dosis y características del agregado:

- Diseñar cada capa como un tratamiento superficial simple.
- Cada capa debe de tener un tamaño nominal no superior a la mitad del tamaño nominal de la capa inferior.
- No se debe de corregir por pérdida, esto debido a que una cantidad excesiva de agregado puede formar una capa de agregado escasamente cubierto, que ocasiona desprendimiento de las demás capas y puede provocar la pérdida de agregado a causa de la falta de agregado embebido.
- En los tratamientos superficiales dobles, la primera capa de agregados generalmente define el espesor. La siguiente capa llena parcialmente los vacíos superiores en la capa previamente colocada.

En cuanto a tasa de aplicación del asfalto:

- Diseñar cada capa como un tratamiento superficial simple.
- Excepto para la segunda capa, no se debe de corregir por textura superficial.

Las tasas de aplicación de ligante en un tratamiento superficial múltiple obtenida para cada capa, por lo general, es sumada y dividida en proporciones distintas en cada una de las capas utilizadas.

Como una pauta general, la cantidad de asfalto para cada capa se expresa como porcentaje del total. En un tratamiento doble, a la primera aplicación corresponde un 40% del total, y a la segunda aplicación corresponde el 60% restante.¹³

3.3 Métodos de Diseño para tratamientos superficiales dobles.

3.3.1 Dimensión mínima promedio.¹⁴

Este método fue desarrollado por el County Roads Board de Victoria, Australia y modificado por N. W. Mc Leod, el cual se desarrolla a partir de la hipótesis del neozelandés F.M Hanson.

Dosis de agregado: El agregado una vez compactado, debe cubrir uniformemente la superficie del pavimento. Por ello, el cálculo de la dosis se basa solamente en condiciones geométricas del agregado (tamaño y densidad).

Para determinar la dosis de agregado en kg/m², se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = (1 - 0.40(V)) * DMP * G * E \quad \text{Ec. 3 - 1}$$

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 IL)} \quad \text{Ec. 3 - 2}$$

Donde:

C = Dosis de agregado en kg/m².

DMP = Dimensión mínima promedio.

¹³ Según "MS-19 Manual Básico de Emulsiones Asfálticas", del Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA).

¹⁴ Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (LANAME)

G = Gravedad específica del agregado (kg/m^3).

E = Factor de desperdicio, corrige la dosis por rebote de partículas y depende del tamaño del agregado (tabla 3.2).

T_m = Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado (mm).

IL = porcentaje en peso de partículas que tienen su dimensión mínima inferior a 0.6 veces la dimensión media del agregado (índice Flakiness).

DMP (mm)	Desperdicio (%)	Factor de desperdicio (E)
< 6.50	5	1.05
6.50 – 8.0	4	1.04
8.1 – 9.50	3	1.03
> 9.50	2	1.02

Tabla 3.2 Factor de desperdicio.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

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

$$B = K \left(\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right) \quad \text{Ec. 3 - 3}$$

Donde:

B = Dosis de aplicación de emulsión en Lt/m^2 .

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. Para esta investigación, este valor se mantendrá en 1. En climas tropicales se ha aplicado 0.9, mientras que en climas muy fríos se usa 1.2.

DMP = Dimensión mínima promedio, según lo definido en la Ec. 3-2.

T = Factor de tráfico que incorpora el efecto del tráfico en el embebido del agregado (tabla 3.3).

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

S = Factor de corrección por textura superficial (L/m) (tabla 3.4).

A = Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (l/m²). Este factor se desprecia salvo que el agregado sea claramente absorbente. Para absorciones por encima del 1.5% se recomienda usar 0.09 L/m². Pero para agregados con una absorción elevada corregir la absorción con respecto a la siguiente definición: "Absorption of Emulsion into Aggregate Chips, A_{aa}: Absorption of emulsion into the chips requires a correction of +0.02 gal/yd² (+0.1 L/m²) for each 1% of water absorption."¹⁵ (Traducción: "La absorción de emulsión del agregado en tratamientos superficiales: La absorción de la emulsión en los agregados requiere una corrección de 0,02 gal/yd² (0,1 Lt/m²) por cada 1% de absorción de agua").

¹⁵ Manual for Emulsion – Based Chip Seal for Pavement Preservation NCHRP Report 680.

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

Tráfico (veh/día)	Factor T
< 100	0.85
100 – 500	0.75
500 – 1000	0.70
1000 – 2000	0.65
> 2000	0.60

Tabla 3.3 Factor T de corrección por nivel de tráfico.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

Textura Superficial	Corrección S (L/m ²)
Negra, exudada	-0.04 a -0.27
Suave, no porosa	0.00
Levemente porosa y oxidada	0.14
Con agujeros leves, oxidada	0.27
Muy porosa	0.40

Tabla 3.4 Factor S de corrección por textura superficial, utilizado en Minnesota.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

Para el diseño de los tratamientos superficiales dobles, el Instituto del Asfalto presenta un método basado en el diseño de tratamientos simples:

Dosis del agregado:

- 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 del Ligante:

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

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.

3.3.2 Texas DOT¹⁶.

El método de diseño que se describe en esta sección se basa en una modificación del método original Kearby y fue recomendado primeramente como el método TxDOT por el Texas Transportation Institute en 1981.

El método de diseño tal como se describe en este documento se debe utilizar para determinar la cantidad de ligante y dosis de aplicación de agregados. Las

¹⁶ Seal Coat and Surface Treatment Manual, por el Texas Department of Transportation.

condiciones de campo requerirán el ajuste de las tasas del ligante y de los agregados.

El método de Texas DOT requiere realizar inicialmente la prueba del tablero que consiste en medir la cantidad de agregado necesaria para cubrir un área determinada. En el laboratorio se utiliza un tablero de un tamaño conveniente el cual se pesa y toman sus medidas para obtener un área en m² o yd², se procede a la colocación del agregado y se determina el peso del tablero más agregado, obteniéndose el peso del agregado aplicado en el tablero y se convierte en unidades de lbs/yd². Se recomienda tener buena iluminación y se debe tener cuidado para colocar el agregado de una sola piedra de profundidad.

Dosis de agregado: La dosis de agregado se determina mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{27 W}{Q} \quad \text{Ec. 3 - 4}$$

Donde:

S = cantidad de agregado requerido en yardas cuadradas por yarda cúbica (Y²/Y³).

W = peso unitario suelto seco en libras por pie cúbico (lb/ft³).

Q = cantidad total determinada a partir de la prueba del tablero (lb/Y²).

Dosis del Ligante:

$$A = 5.61 * E * \left(1 - \frac{W}{62.4 G}\right) * T + V \quad \text{Ec. 3 - 5}$$

Donde:

A = tasa de asfalto en Gal/y² a 60 ° F

E = profundidad de embebido calculada por

$$E = e * d \quad \text{Ec. 3 - 6}$$

e = porcentaje de embebido expresado como un decimal (Imagen 3.1).

d = profundidad promedio del agregado en pulgadas, se calcula a partir de

$$d = \frac{1.33 Q}{W} \quad \text{Ec. 3 - 7}$$

W = peso unitario suelto seco en libras por pie cúbico (lb/ft³).

Q = cantidad total determinada a partir de la prueba del tablero (lb/Y²).

G = gravedad especifica del agregado.

Factor T = corrección de tráfico (ver Tabla 3.5).

V = corrección de estado de la superficie (ver Tabla 3.6).

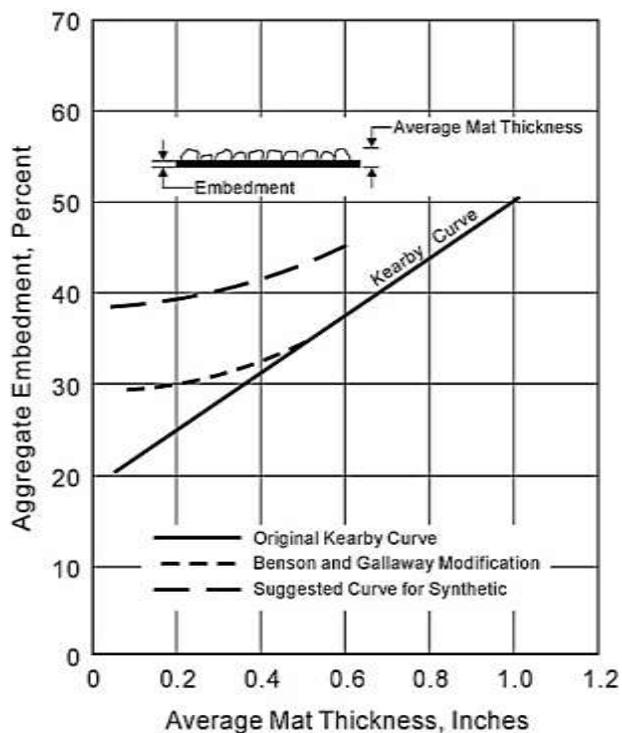


Imagen 3.1 Relación del porcentaje de embebido contra profundidad promedio del agregado en pulgadas para determinar la cantidad de asfalto, Seal Coat and Surface Treatment Manual.

TRÁFICO - VEHÍCULOS POR DÍA POR CARRIL					
Factor de Corrección Tráfico (T)	> 1000	500 - 1000	250 - 500	100 - 250	< 100
Factor de Corrección	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20

Tabla 3.5 Corrección por Tráfico.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

TEXTURA DE LA SUPERFICIE EXISTENTE	CORRECCIÓN POR SUPERFICIE
Superficie exudada	-0.06
Superficie suave, no porosa	-0.03
Levemente porosa	0.00
Porosa, superficie oxidada	0.03
Muy porosa	0.06

Tabla 3.6 Condiciones Pavimento superficie existente.

Fuente: Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica.

Estas condiciones de la superficie puede variar a lo largo del proyecto, y los ajustes deben hacerse según sea el proyecto.

Para las emulsiones, la tasa de aplicación debería aumentarse para tener en cuenta el agua de la emulsión. Por lo tanto, la ecuación 3-8 se presenta para determinar la tasa de aplicación emulsión recomendado. En teoría, la tasa de asfalto de la ecuación 3-5 se puede convertir en el tipo de emulsión requerido dividiendo esta cantidad por el asfalto residual presente en la emulsión. Sin embargo, la experiencia de campo muestra que si se utiliza este valor, el lavado es probable que ocurra. Por lo tanto, se ajusta la tasa de aplicación emulsión recomendado como se muestra a continuación:

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{\text{asfalto residual} - A} \right) \quad \text{Ec. 3 - 8}$$

Donde:

A_e = Cantidad recomendada de emulsión.

A = Cantidad de asfalto de la ecuación 3-5.

K = Factor de ajuste estacional.

K = 0.40 (verano) y K = 0.90 (invierno).

3.4 Resultados de laboratorios a los agregados.

Los resultados de los agregados obtenidos en el laboratorio se presentan en la siguiente tabla resumen (Tabla 3.7).

TABLA RESUMEN DE LOS AGREGADOS				
Tamaño	Propiedades	El Castaño	La Hulera	Suchitoto
1"	Granulometría	# 56	-	-
	Gravedad Especifica	2.346 gr/cm ³	-	-
	Absorción	6.20 %	-	-
	Índice de Lajas	28.90 %	-	-
	Peso Volumétrico	1.177 gr/cm ³	-	-
	% de Vacíos	46.50 %	-	-
		Ver Anexo A		
3/4"	Granulometría	-	# 56	# 6
	Gravedad Especifica	-	2.764 gr/m ³	2.497 gr/cm ³
	Absorción	-	1.60%	2.659%
	Índice de Lajas	-	27.50%	21.59%
	Peso Volumétrico	-	1.508 gr/cm ³	1.3607 gr/cm ³
	% de Vacíos	-	44.40%	45.50%
			Ver Anexo C	Ver Anexo E
3/8"	Granulometría	# 89	# 8	# 8
	Gravedad Especifica	2.346 gr/cm ³	2.768 gr/cm ³	2.394 gr/cm ³
	Absorción	6.80%	1.70%	3.587%
	Índice de Lajas	15.20%	17.80%	22.65%
	Peso Volumétrico	1.394 gr/cm ³	1.520 gr/cm ³	1.2684 gr/cm ³
	% de Vacíos	37.10%	44.00%	47.01%
		Ver Anexo B	Ver Anexo D	

Tabla 3.7 Tabla resumen de los agregados.

Fuente: Propia.

3.5 Resultados de ensayos realizados a la emulsión.

Pruebas de Composición.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



PRUEBAS DE COMPOSICIÓN
DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
BASADO EN NORMA ASTM D-244.

Proyecto: Trabajo de Graduación.

Laboratorista:

RESIDUO POR EVAPARACIÓN ASTM D6934 (REPETITIVIDAD = 0.40% EN PESO.)			
Peso de recipiente + varilla	111.8	112.3	115.3
Peso de recipiente + varilla+ emulsión.	161.8	162.3	165.4
Peso de emulsión (50 ± 0.1 g)	50.0	50.0	50.1
Peso de recipiente + varilla + residuo.	144.5	145.2	148.1
% de residuo asfáltico.	65.6	65.8	65.6
PROMEDIO	65.67		

CARGA DE PARTICULA – ASTM D7402 (METODO A)	
Electrodo en el que se deposita el asfalto.	NEGATIVO
Clasificación dela emulsión.	POSITIVA

RESIDUO POR DESTILACIÓN ASTM D6997.	
Peso de alambique vacío.	2334.40
Peso de alambique + emulsión.	2538.90
Peso de emulsión (200 ± 1 g)	204.50
Peso de alambique + residuo.	2468.00
% de residuo asfáltico.	65.33
Tiempo de duración de destilación.	57.00
ml de aceite destilado en probeta.	1.50
% de aceite destilado	0.73

Tabla 3.8 Ensayos de Composición.

Pruebas de Consistencia.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



PRUEBAS DE CONSISTENCIA
DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
BASADO EN NORMA ASTM D-244.

Proyecto: Trabajo de Graduación.

Laboratorista
:

ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOL FUROL – ASTM D7496 Y ASTM D88					
		1 ^{er} lectura	1 ^{er} lectura	1 ^{er} lectura	1 ^{er} lectura
Temperatura a la que se realizó el ensayo (°C) 50.0 °C		23.17	23.29	23.15	23.18
Viscosidad SAYBOL FUROL (seg)		23.17	23.29	23.15	23.18
Factor de corrección de la galería		1.00	1.00	1.00	1.00
Viscosidad SAYBOL FUROL corregido (seg)		23.17	23.029	23.15	23.18
Repetitividad (% MEDIA)		Media de los resultados duplicados		23.20	
25.0 °C	6.7	Diferencia de resultados		0.06	
50.0 °C	10.8	Repetitividad (% MEDIA)		0.27	

Tabla 3.9 Ensayos de Consistencia.

Pruebas de Estabilidad.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



PRUEBAS DE ESTABILIDAD
DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
BASADO EN NORMA ASTM D-244.

PRUEBA DE TAMIZ – ASTM D6933		CARGA DE PARTICULA – ASTM D7402 (METODO A)	
Peso de tamiz + fondo.	161.30	Peso de emulsión en la copa	
Peso de recipiente + emulsión	1227.50	Factor de copa	
Peso de recipiente vacío	296.40	Densidad a 25.0 °C (gr/lit)	
Peso de tamiz + fondo + residuo	161.4	Densidad a 25.0 °C (lb/Gal)	
% sobre partículas	0.0107	Densidad a 25.0 °C (lb/Gal)	

PRUEBA ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO - ASTM D6997	TOP	FONDO
Peso beaker + agitador de vidrio	122.5	125.3
Peso beaker + agitador + emulsión	172.3	175.3
Peso beaker + agitador + residuo	155.0	158.2
% residuo asfáltico	65.3	65.8
% de sedimentación	0.54	

ENSAYO DEMULSIBILIDAD DE EMULSIÓN ASTM D6936	1	2	3
Peso beaker + agitador + malla	323.6	315.2	0.0
Peso beaker + agitador + malla + emulsión	423.6	415.2	0.0
Peso beaker + agitador + malla + asfalto	388.4	379.6	0.0
Residuo de DEMULSIBILIDAD	64.80	64.40	0.0
% DEMULSIBILIDAD	98.68	98.07	0.0
Promedio	98.38		

Tabla 3.10 Ensayos de Estabilidad.

Examinación del Residuo Asfáltico.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



EXAMINACIÓN DEL RESIDUO
DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
BASADO EN NORMA ASTM D-244.

GRAVEDAD ESPECIFICA – ASTM D70	
Picnómetro seco y limpio	31.8259
Picnómetro aforado con agua (25.0 °C)	53.4357
Picnómetro con cemento asfáltico (25.0 °C)	44.6970
Picnómetro con agua y cemento asfáltico aforado (25.0 °C)	53.6485
Gravedad específica del cemento asfáltico.	1.0168

SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO – ASTM D2042		
MEDIDAS		OBSERVACIONES
Masa de crisol + filtro	0.00	Después de 20 min a 110 °C
Masa de muestra	0.00	Temperatura ambiente
Masa de crisol + filtro + material insoluble	0.00	Después de 20 min a 110 °C
% Insoluble	0.00	
% solubilidad		99.54

ENSAYO DE DUCTILIDAD (25 °C, 5 cm/min) ASTM – D113				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
		35.0	36.0	35.0

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR DUCTILOMETRO (%) (25 °C, 10 cm elongación) ASTM D6084				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
		85.0	85.0	85.0



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



EXAMINACIÓN DEL RESIDUO
DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
BASADO EN NORMA ASTM D-244.

ENSAYO DE PENETRACIÓN (25 °C, 100 gr, 5 seg) ASTM D5				
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
	50.0	50.0	50.0	50.0

PUNTO DE ABLANDAMIENTO – ASTM D36		
MINUTO	TEMPERATURA MEDIDA (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)
0	4.0	
1	7.0	3.0
2	11.0	4.0
3	16.0	5.0
4	21.0	5.0
5	25.5	4.5
6	30.0	4.5
7	34.0	4.0
8	38.0	4.0
9	42.0	4.0
10	47.0	5.0
11	51.0	4.0
12	55.5	4.5
13	60.0	4.5

Tabla 3.11 Ensayos de Examinación del Residuo Asfáltico.

3.6 Diseños mediante el Método de la Dimensión Mínima Promedio.

3.6.1 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para agregado de la CANTERA EL CASTAÑO.

Diseño de la primera capa: Agregado de 1”.

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V)) * DMP * G * E$$

Donde:

C= Dosis de agregado en kg/m²

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

DMP = Dimensión mínima promedio.

G = Densidad real seca del agregado (kg/m³)

E = Factor de desperdicio, corrige la dosis por rebote de partículas y depende del tamaño del agregado. (Ver tabla 3.2)

T_m = Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado (mm).

IL = porcentaje en peso de partículas que tienen su dimensión mínima inferior a 0.6 veces la dimensión media del agregado (Índice de Lajas).

M = factor de corrección varia de 0.9 a 1.1 con agregado con gravedades específicas alrededor de 2.65, en el caso de la pedrera El Castaño, están por

muy debajo, en tal sentido el ajuste se realizará con tramos de prueba a escala real.

Calculo del DMP:

$$\text{DMP} = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} T_m = & \left[\left(\frac{0.28}{100} \right) \times \left(\frac{37.50 + 25}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{32.51}{100} \right) \times \left(\frac{25 + 19}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{62.71}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{3.30}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{0.34}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.05}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{0.12}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 0.60}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.12}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{0.49}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.075}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$T_m = 17.51$$

Grafica de tamaño medio del agregado de 1" procedente de la cantera El Castaño.

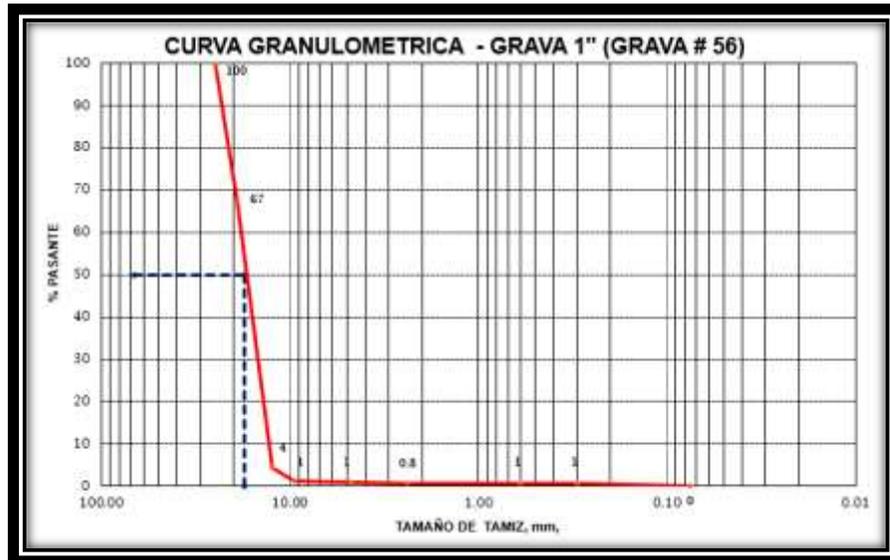


Gráfico 3.1 Curva Granulométrica grava 1" Cantera El Castaño.

$$DMP = \frac{17.51}{1.09 + (0.0118 * 28.90)}$$

$$DMP = 12.24$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 2%.

El porcentaje de vacíos es:

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

S = Gravedad específica de acuerdo a ASTM C 127.

W = Densidad del agua a 23 °C.

M = Peso volumétrico.

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.208 * 997.50) - 1177.40]}{(2.208 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 46.50$$

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.4 (V)) * DMP * G * E$$

$$C = (1 * (1 - 0.40 (0.4650))) * 12.24 * 2.208 * 1.02)$$

$$C = 22.44 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Está cantidad de agregado es la cantidad teórica que se obtiene en base a los datos obtenidos en los laboratorios. Pero se corrige realizando una pequeña plancha para determinar la cantidad necesaria para cubrir el área estipulada (0.25 m²).

Entonces si para un m² se necesita una cantidad de agregado (22.44 Kg) se realiza una regla de tres para determinar la cantidad necesaria para cubrir el área asignada (0.25 m²).

$$1 \text{ m}^2 \rightarrow 22.44 \text{ Kg.}$$

$$0.25 \text{ m}^2 \rightarrow x$$

$$x = \frac{22.44 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 5.61 \text{ Kg.}$$

La cantidad de 5.61 Kg es la cantidad teórica para cubrir el área de 0.25 m², pero en este caso cuando se procedió a realizar la plancha de prueba en laboratorio, la cantidad que se necesitó para cubrir el área dio como resultado 3.82 Kg, al

dividir esta cantidad entre el área (0.25 m²), se obtiene la cantidad real de agregado para cubrir un metro cuadrado.

$$C = \frac{3.815 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 15.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Ahora este resultado (15.26 Kg/m²) se dividirá entre la cantidad teórica de agregado (22.44 Kg/m²) de agregado obteniendo así un nuevo factor M con el que se corregirá la ecuación teórica de cantidad.

$$M = \frac{15.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{22.44 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.68$$

Por tanto el factor de ajuste, para aplicarse a la cantidad de agregados es:

$$C = (0.68 * (1 - 0.40 (0.4650)) * 12.24 * 2.208 * 1.02)$$

$$C = 15.26 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Cantidad del ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

Donde:

B= Dosis de aplicación de emulsión en l/m²

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. Para esta investigación, lo dejaremos en 1, y se hará una recomendación. 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.

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

S = Factor de corrección por textura superficial (l/m²).

A = Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (l/m²). Este factor se desprecia salvo que el agregado sea claramente absorbente. Para absorciones por encima del 1.5% se recomienda usar 0.09 L/m².

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

T = Factor de tráfico. (Tabla 3.3)

S = Factor de corrección por textura superficial. (Tabla 3.4)

$$B = 1 * \left[\frac{0.40 * 12.24 * 0.75 * 0.4670 + 0.0 + 0.124}{0.65} \right]$$

$$B = 2.83 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.75 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8".

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E)$$

Calculo del DMP:

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 T_m = & \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{9.45}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\
 & + \left[\left(\frac{52.34}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{18.09}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\
 & + \left[\left(\frac{6.16}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 1.18}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{7.01}{100} \right) \times \left(\frac{1.18 + 0.60}{2} \right) \right] \\
 & + \left[\left(\frac{1.88}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{1.83}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.15}{2} \right) \right] \\
 & + \left[\left(\frac{2.90}{100} \right) \times \left(\frac{0.15 + 0.075}{2} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$T_m = 5.60$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/8" procedente de la cantera El Castaño.

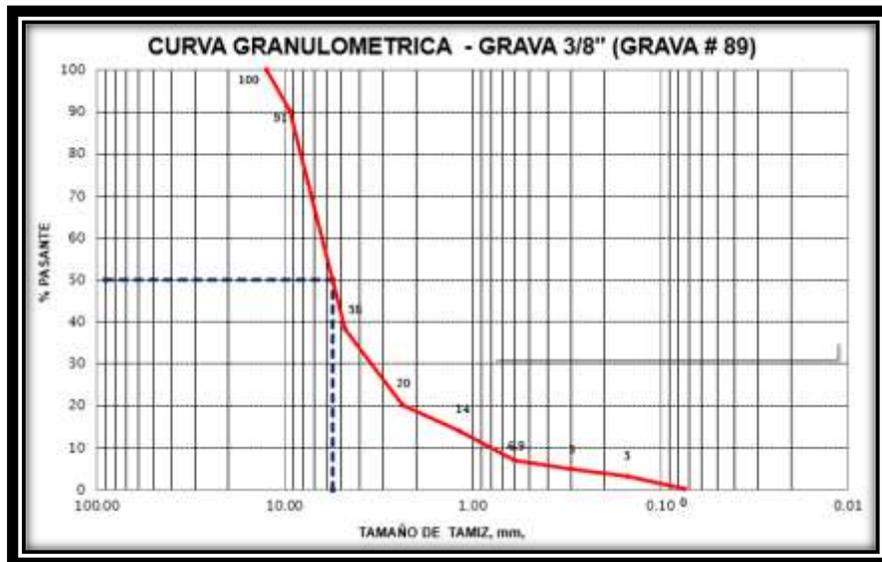


Gráfico 3.2 Curva Granulométrica grava 3/8'' Cantera El Castaño.

$$DMP = \frac{5.60}{1.09 + (0.0118 * 15.2)}$$

$$DMP = 4.41$$

El porcentaje de vacíos es:

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

S = Gravedad específica de acuerdo a ASTM C 127

W = Densidad del agua a 23 °C

M = Peso volumétrico

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.22 * 997.50) - 1394.0]}{(2.22 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 37.0$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.40(V)) * \text{DMP} * G * E$$

$$C = (1 * (1 - 0.4(0.37)) * 4.41 * 2.22 * 1.05) = 8.75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ m}^2 & \rightarrow 8.75 \text{ Kg.} \\ 0.25 \text{ m}^2 & \rightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{8.75 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 2.19 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{3 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 12.00 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{12.00 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{8.75 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 1.37$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = 1.37 * (1 * (1 - 0.4(0.37))) * 4.41 * 2.22 * 1.05)$$

$$C = 12.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando la dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * \text{DMP} * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 4.41 * 0.75 * 0.37 + 0.00 + 0.136}{0.65} \right]$$

$$B = 0.96 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.25 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

3.6.2 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para agregado de la CANTERA LA HULERA.

Diseño de la primera capa: Agregado de 3/4".

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V)) * \text{DMP} * G * E$$

Calculo del DMP:

$$\text{DMP} = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * \text{IL})}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
T_m &= \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{37.50 + 25}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.37}{100} \right) \times \left(\frac{25 + 19}{2} \right) \right] \\
&+ \left[\left(\frac{25.33}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{23.37}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\
&+ \left[\left(\frac{46.96}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{2.78}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\
&+ \left[\left(\frac{0.71}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 0.60}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.11}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] \\
&+ \left[\left(\frac{0.26}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.075}{2} \right) \right] \\
T_m &= 10.10
\end{aligned}$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/4" procedente de la cantera La Hulera.

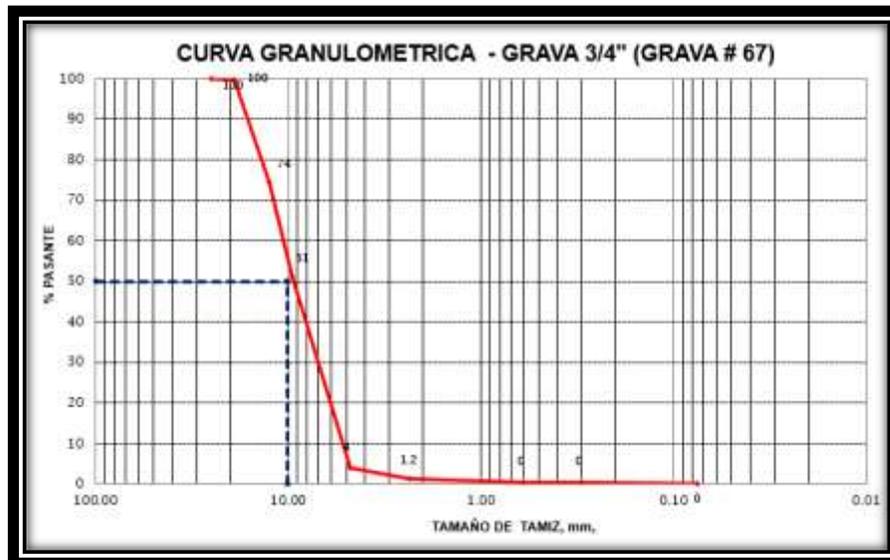


Gráfico 3.3 Curva Granulométrica grava 3/4'' Cantera La Hulera.

$$DMP = \frac{10.10}{1.09 + (0.0118 * 27.51)}$$

$$DMP = 7.14$$

El porcentaje de vacíos es:

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.72 * 997.50) - 1507.90]}{(2.72 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 44.40$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

Cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E)$$

$$C = 1 * (1 - 0.4 (0.444) * 7.14 * 2.72 * 1.05)$$

$$C = 16.77 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$1 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 16.77 \text{ Kg.}$$

$$0.25 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad x$$

$$x = \frac{16.77 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 4.19 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{2.94 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 11.74 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{11.74 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{16.77 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.70$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = 0.70 * (1 * (1 - 0.40 (0.444)) * 7.14 * 2.72 * 1.05)$$

$$C = 11.74 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando la dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * \text{DMP} * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 6.43 * 0.75 * 0.444 + 0.00 + 0.09}{0.65} \right]$$

$$B = 1.46 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.39 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8".

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * \text{DMP} * G * E$$

Calculo del DMP:

$$\text{DMP} = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * \text{IL})}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$T_m = \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{1.26}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right]$$

$$+ \left[\left(\frac{89.39}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{6.67}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right]$$

$$+ \left[\left(\frac{1.33}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 1.18}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.51}{100} \right) \times \left(\frac{1.18 + 0.60}{2} \right) \right]$$

$$+ \left[\left(\frac{0.26}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.22}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.15}{2} \right) \right]$$

$$+ \left[\left(\frac{0.26}{100} \right) \times \left(\frac{0.15 + 0.075}{2} \right) \right]$$

$$T_m = 6.78$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/8" procedente de la cantera La Hulera.

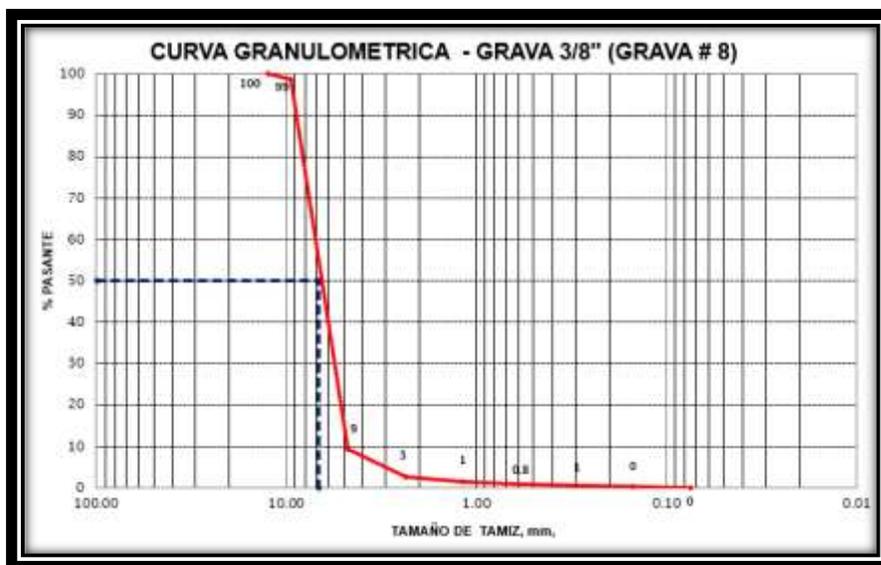


Gráfico 3.4 Curva Granulométrica grava 3/8'' Cantera La Hulera.

$$DMP = \frac{6.78}{1.09 + (0.0118 * 17.85)}$$

$$DMP = 5.21$$

El porcentaje de vacíos es:

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.72 * 997.50) - 1520.10]}{(2.72 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 44 \%$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.4 (V)) * DMP * G * E$$

$$C = 1 * (1 - 0.4 (0.44)) * 5.21 * 2.72 * 1.05$$

$$C = 12.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$1 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 12.26 \text{ Kg.}$$

$$0.25 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad x$$

$$x = \frac{12.26 \text{ Kg.} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.07 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{2.15 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 8.58 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{8.58 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{12.26 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.70$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = 0.70 * (1 * (1 - 0.4(0.44))) * 5.21 * 2.72 * 1.05$$

$$C = 8.58 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando la dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 5.15 * 0.75 * 0.44 + 0.00 + 0.09}{0.65} \right]$$

$$B = 1.18 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.31 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

3.6.3 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para combinación de agregados.

Diseño de la primera capa: Agregado de 3/4", Cantera La Hulera.

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E$$

Calculo del DMP:

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} T_m &= \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{37.50 + 25}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.37}{100} \right) \times \left(\frac{25 + 19}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{25.33}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{23.37}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{46.96}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{2.78}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{0.71}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 0.60}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.11}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{0.26}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.075}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$T_m = 10.10$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/4" procedente de la cantera La Hulera.

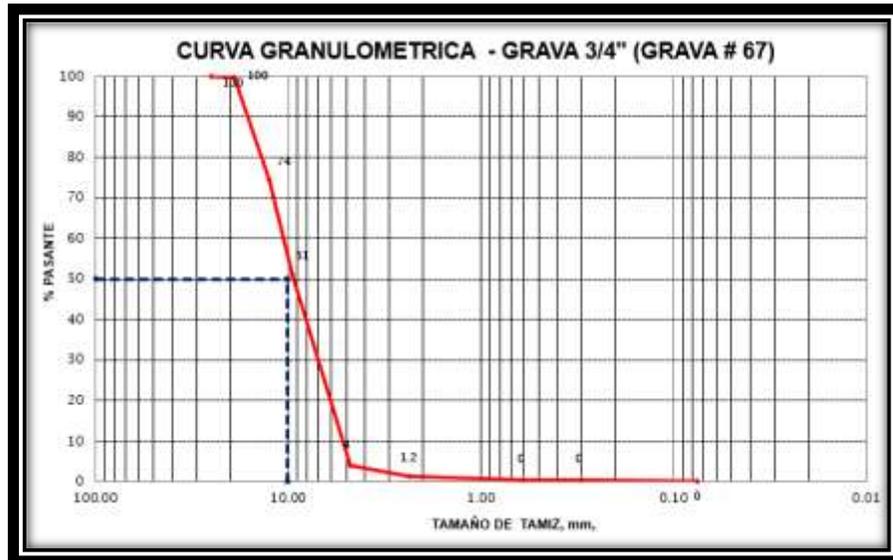


Gráfico 3.5 Curva Granulométrica grava 3/4" Cantera La Hulera.

$$DMP = \frac{10.10}{1.09 + (0.0118 * 27.51)}$$

$$DMP = 7.14$$

El porcentaje de vacíos es:

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.72 * 997.50) - 1507.90]}{(2.72 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 44.40$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.4 (V)) * DMP * G * E$$

$$C = 1 * (1 - 0.4 (0.444)) * 7.14 * 2.72 * 1.05$$

$$C = 16.77 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 16.77 \text{ Kg.} \\ 0.25 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{16.77 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 4.19 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{2.94 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 11.74 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{11.74 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{16.77 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.70$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = 0.70 * (1 * (1 - 0.40 (0.444))) * 7.14 * 2.72 * 1.05$$

$$C = 11.74 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando la dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 6.43 * 0.75 * 0.444 + 0.00 + 0.09}{0.65} \right]$$

$$B = 1.46 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.39 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8" Cantera El Castaño.

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E$$

Calculo del DMP:

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} T_m = & \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{9.45}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{52.34}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{18.09}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{6.16}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 1.18}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{7.01}{100} \right) \times \left(\frac{1.18 + 0.60}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{1.88}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{1.83}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.15}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{2.90}{100} \right) \times \left(\frac{0.15 + 0.075}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$T_m = 5.60$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/8" procedente de la cantera El Castaño.

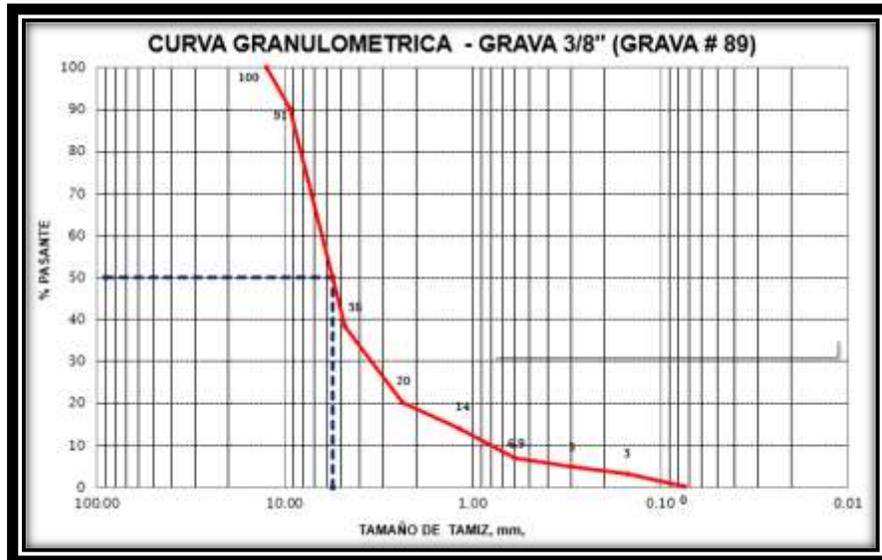


Gráfico 3.6 Curva Granulométrica grava 3/8" Cantera El Castaño.

$$DMP = \frac{5.60}{1.09 + (0.0118 * 15.2)}$$

$$DMP = 4.41$$

El porcentaje de vacíos es:

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.22 * 997.50) - 1394.0]}{(2.22 * 997.50)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 37.0$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

La cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.40(V)) * DMP * G * E$$

$$C = (1 * (1 - 0.4(0.37))) * 4.41 * 2.22 * 1.05 = 8.75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ m}^2 & \rightarrow 8.75 \text{ Kg.} \\ 0.25 \text{ m}^2 & \rightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{8.75 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 2.19 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{3 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 12.00 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{12.00 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{8.75 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 1.37$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = 1.37 * (1 * (1 - 0.4(0.37))) * 4.41 * 2.22 * 1.05$$

$$C = 12.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 4.41 * 0.75 * 0.37 + 0.00 + 0.136}{0.65} \right]$$

$$B = 0.96 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.25 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

3.6.1 Diseño de tratamiento superficial doble por el método de la dimensión mínima promedio para el tramo de Suchitoto.

Diseño de la primera capa: Agregado de 3/4".

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E$$

Calculo del DMP:

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} T_m &= \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{25 + 19}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{62.75}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{27.70}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{7.88}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{0.10}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.10}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 0.60}{2} \right) \right] \\ &+ \left[\left(\frac{0.10}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.56}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.075}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$T_m = 13.50$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/4" procedente de la cantera de Suchitoto.

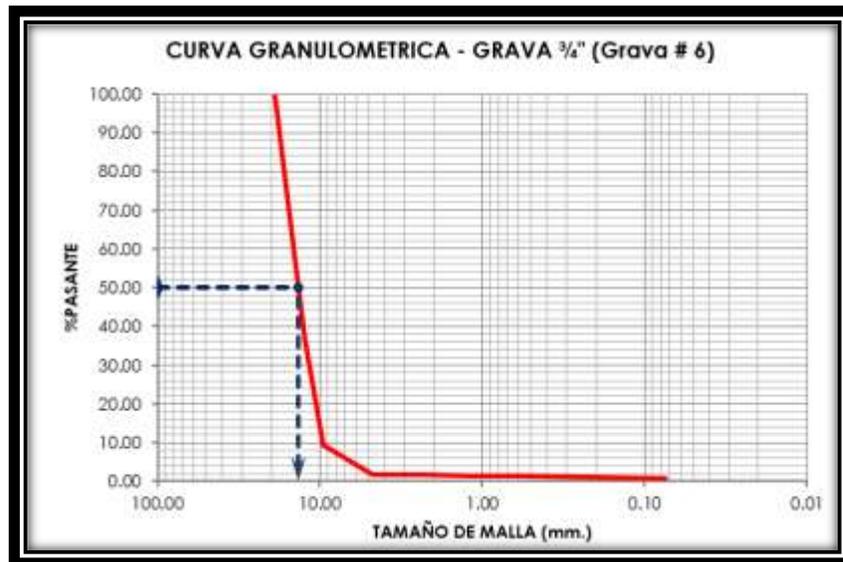


Gráfico 3.7 Curva Granulométrica grava 3/4" Cantera de Suchitoto.

$$DMP = \frac{13.50}{1.09 + (0.0118 * 21.59)}$$

$$DMP = 10.04$$

El porcentaje de vacíos es

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.49 * 1000) - 1360.7]}{(2.49 * 1000)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 45.50$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 2%.

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.4(V)) * DMP * G * E$$

$$C = (1 * (1 - 0.4(0.455)) * 10.04 * 2.49 * 1.02)$$

$$C = 20.85 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 20.85 \text{ Kg.} \\ 0.25 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{20.85 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 5.21 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{3.65 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 14.60 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{14.60 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{20.85 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.7$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = (0.7 * (1 - 0.40 (0.4550)) * 10.04 * 2.49 * 1.02)$$

$$C = 14.60 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 10.04 * 0.85 * 0.4550 + 0.14 + 0.09}{0.65} \right]$$

$$B = 2.74 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.72 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8".

Cantidad de agregado:

$$C = M * (1 - 0.4 (V) * DMP * G * E$$

Calculo del DMP:

$$DMP = \frac{T_m}{1.09 + (0.0118 * IL)}$$

$$T_m = \Sigma \left[\left(\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right) \times \left(\frac{\text{Malla superior} + \text{malla donde se retiene}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} T_m = & \left[\left(\frac{0}{100} \right) \times \left(\frac{19 + 12.50}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{10.19}{100} \right) \times \left(\frac{12.50 + 9.50}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{83.01}{100} \right) \times \left(\frac{9.50 + 4.76}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{3.19}{100} \right) \times \left(\frac{4.76 + 2.36}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{0.41}{100} \right) \times \left(\frac{2.36 + 1.18}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.29}{100} \right) \times \left(\frac{1.18 + 0.60}{2} \right) \right] \\ & + \left[\left(\frac{0.50}{100} \right) \times \left(\frac{0.60 + 0.30}{2} \right) \right] + \left[\left(\frac{0.81}{100} \right) \times \left(\frac{0.30 + 0.075}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$T_m = 7.17$$

Gráfica de tamaño medio del agregado de 3/8" procedente de la cantera de Suchitoto.

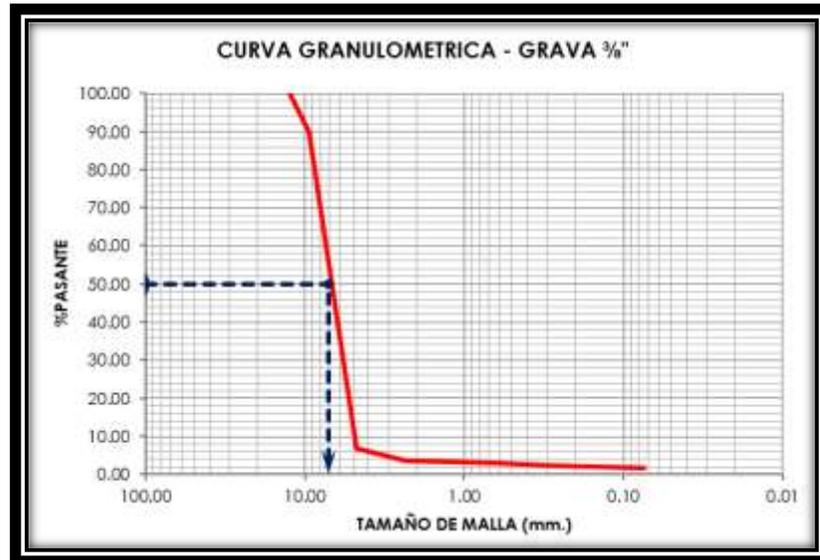


Gráfico 3.8 Curva Granulométrica grava 3/8" Cantera de Suchitoto.

$$DMP = \frac{7.17}{1.09 + (0.0118 * 22.60)}$$

$$DMP = 5.28$$

El porcentaje de vacíos es:

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

$$\% \text{ VACIOS} = \frac{100 * [(2.394 * 1000) - 1268.4]}{(2.22 * 1000)}$$

$$\% \text{ VACIOS} = 47.01$$

El factor de desperdicio se obtiene de la tabla 3.2 usando de referencia el DMP calculado en este caso es igual a 5%.

Entonces la cantidad de material es:

$$C = M * (1 - 0.40(V)) * DMP * G * E$$

$$C = (1 * (1 - 0.4(0.4701)) * 5.28 * 2.394 * 1.05)$$

$$C = 10.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando el factor M:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad 10.78 \text{ Kg.} \\ 0.25 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{10.78 \text{ Kg} * 0.25 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 2.70 \text{ Kg.}$$

$$C = \frac{1.89 \text{ Kg.}}{0.25 \text{ m}^2} = 7.55 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

$$M = \frac{7.55 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}}{10.78 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}} = 0.7$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$C = (0.7 * (1 - 0.4(0.4701)) * 5.28 * 2.394 * 1.05)$$

$$C = 7.55 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Calculando la dosis de ligante:

$$B = K \left[\frac{0.40 * DMP * T * V + S + A}{R} \right]$$

$$B = 1 \left[\frac{0.40 * 5.28 * 0.75 * 0.4701 + 0.00 + 0.09}{0.65} \right]$$

$$B = 0.83 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 0.22 \frac{\text{Gal}}{\text{m}^2}$$

3.7 Diseños mediante el Método Texas DOT.

3.7.1 Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para agregado de la Cantera El Castaño.

Diseño de la primera capa: Agregado de 1".

La cantidad de agregado se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{27 W}{Q}$$

Donde:

S: cantidad de agregado en y^2/y^3 .

W: Peso volumétrico suelto en lb/pe^3 .

Q: Cantidad de material determinado por la prueba del tablero en lb/y^2 .

Transformando el valor del peso volumétrico a las unidades correspondientes.

$$W = \frac{1177 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{73.38 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{3810 \text{ grs}}{0.25 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{28.03 \text{ lb}}{\text{y}^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(73.38 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{28.03 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{70.68 \text{ y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

70.68 y² equivalen a 1 y³

$$70.68 \text{ y}^2 = 59.10 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ y}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$$

59.10 m² equivalen a 0.7645 m³

Peso volumétrico del agregado 1177.4 kg/m³.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1177.40 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{ m}^3)$$

$$P = 900.12 \text{ Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{900.12 \text{ Kg.}}{59.10 \text{ m}^2}$$

$$S = 15.23 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la primera capa del tratamiento superficial con agregado de 1".

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) T + V$$

Donde:

E: altura del agregado recubierto por el ligante = e * d.

e: porcentaje de recubrimiento o embebido (Imagen 3.1)

d: espesor promedio del agregado $d = \frac{1.33 Q}{W}$

G: Gravedad específica del agregado.

T: Factor de corrección de tráfico (Tabla 3.5).

V: Factor de corrección por condición de superficie (Tabla 3.6).

La cantidad de asfalto es:

$$A = 5.61 \left[e \left(\frac{1.33 Q}{W} \right) \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) \right] T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.5 \left(\frac{1.33 (28.03)}{73.38} \right) \left(1 - \frac{73.38}{62.4 * 2.21} \right) \right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.83 \frac{\text{Gals}}{y^2}$$

Realizando ajuste para emulsión.

Ya que es un método que no está diseñado para emulsiones se debe realizar un ajuste para poder determinar la cantidad de emulsión a ser usada, lo cual se logra a través de la siguiente ecuación.

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A \right)$$

Donde K es un factor de corrección por estación en la que se construye el tratamiento superficial el cual se puede usar un valor de 0.40 cuando se realiza en verano y 0.9 cuando es en invierno, debido a las condiciones propias del país se ha tomado el valor de 0.40, teniendo como resultado el siguiente valor de ajuste para emulsión.

$$A_e = 0.83 + 0.40 \left(\frac{0.83}{0.65} - 0.83 \right)$$

$$A_e = 1.00 \frac{\text{Gals}}{y^2} = 1.20 \frac{\text{Gals}}{m^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8".

Cantidad de agregado para la segunda capa de 3/8" del tratamiento superficial
doble:

$$W = \frac{1392 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{86.78 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{1774 \text{ grs}}{0.237 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{13.77 \text{ lb}}{\text{y}^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(86.78 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{13.77 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{170.16 \text{ y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

$$170.16 \text{ y}^2 \text{ equivalen a } 1 \text{ y}^3$$

$$170.16 \text{ y}^2 = 142.28 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ y}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$$

$$142.28 \text{ m}^2 \text{ equivalen a } 0.7645 \text{ m}^3$$

Peso volumétrico del agregado $1394 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1394 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{ m}^3)$$

$$P = 1065.71 \text{ Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{1065.71 \text{ Kg.}}{142.28 \text{ m}^2}$$

$$S = 7.49 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la segunda capa del tratamiento superficial con agregado de 3/8" proveniente de la cantera El Castaño.

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.32 \left(\frac{1.33 (13.77)}{86.78} \right) \left(1 - \frac{86.78}{62.4 * 2.22} \right) \right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.22 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2}$$

Ajuste para emulsión:

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A \right)$$

$$A_e = 0.22 + 0.40 \left(\frac{0.22}{0.65} - 0.22 \right)$$

$$A_e = 0.27 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2} = 0.32 \frac{\text{Gals}}{\text{m}^2}$$

3.7.2 Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para agregado de la Cantera La Hulera.

Diseño de la primera capa: Agregado de 3/4".

La cantidad de agregado se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{27 W}{Q}$$

Transformando el valor del peso volumétrico a las unidades correspondientes.

$$W = \frac{1507 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{93.95 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{2506 \text{ grs}}{0.237 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{19.45 \text{ lb}}{\text{y}^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(93.95 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{19.45 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{130.42 \text{ y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

$$130.42 \text{ y}^2 \text{ equivalen a } 1 \text{ y}^3$$

$$130.42 \text{ y}^2 = 109.04 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ y}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$$

$$109.04 \text{ m}^2 \text{ equivalen a } 0.7645 \text{ m}^3$$

Peso volumétrico del agregado $1507.90 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1507.90 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{ m}^3)$$

$$P = 1152.79 \text{ Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{1152.79 \text{ Kg.}}{109.03 \text{ m}^2}$$

$$S = 10.57 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la primera capa del tratamiento superficial con agregado de 3/4".

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) T + V$$

La cantidad de asfalto es:

$$A = 5.61 \left[e \left(\frac{1.33 Q}{W} \right) \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) \right] T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.42 \left(\frac{1.33 (19.45)}{93.95} \right) \left(1 - \frac{93.95}{62.4 * 2.72} \right) \right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.39 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2}$$

Realizando ajuste para emulsión.

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A \right)$$

$$A_e = 0.39 + 0.40 \left(\frac{0.39}{0.65} - 0.39 \right)$$

$$A_e = 0.47 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2} = 0.56 \frac{\text{Gals}}{\text{m}^2}$$

Diseño de la segunda capa: Agregado de 3/8".

Cantidad de agregado para la segunda capa del tratamiento superficial con agregado de 3/8".

$$S = \frac{27 W}{Q}$$

$$W = \frac{1519 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{94.70 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{2068 \text{ grs}}{0.237 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{16.05 \text{ lb}}{\text{y}^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(94.70 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{16.05 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{159.31 \text{ y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

$$159.31 \text{ y}^2 \text{ equivalen a } 1 \text{ y}^3$$

$$159.31 \text{ y}^2 = 133.20 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ y}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$$

$$133.20 \text{ m}^2 \text{ equivalen a } 0.7645 \text{ m}^3$$

Peso volumétrico del agregado $1520.10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1520.10 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{ m}^3)$$

$$P = 1162.11 \text{ Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{1162.11 \text{ Kg.}}{133.20 \text{ m}^2}$$

$$S = 8.72 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la segunda capa del tratamiento superficial con agregado de 3/8".

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G}\right) T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.32 \left(\frac{1.33 (16.05)}{94.70}\right) \left(1 - \frac{94.70}{62.4 * 2.72}\right)\right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.27 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2}$$

Ajuste para emulsión:

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A\right)$$

$$A_e = 0.27 + 0.40 \left(\frac{0.27}{0.65} - 0.27\right)$$

$$A_e = 0.33 \frac{\text{Gals}}{\text{y}^2} = 0.39 \frac{\text{Gals}}{\text{m}^2}$$

3.7.3 Diseño de tratamiento superficial doble por el método Texas DOT para la combinación de agregados.

Diseño de la primera capa: Agregado de 3/4", precedente de la Cantera La Hulera.

La cantidad de agregado se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{27 W}{Q}$$

Transformando el valor del peso volumétrico a las unidades correspondientes.

$$W = \frac{1507 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{93.95 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{2506 \text{ grs}}{0.237 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{19.45 \text{ lb}}{\text{y}^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(93.95 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{19.45 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{130.42 \text{ y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

$$130.42 \text{ y}^2 \text{ equivalen a } 1 \text{ y}^3$$

$$130.42 \text{ y}^2 = 109.04 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ y}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$$

$$109.04 \text{ m}^2 \text{ equivalen a } 0.7645 \text{ m}^3$$

Peso volumétrico del agregado $1507.90 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1507.90 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{ m}^3)$$

$$P = 1152.79 \text{ Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{1152.79 \text{ Kg.}}{109.03 \text{ m}^2}$$

$$S = 10.57 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la primera capa del tratamiento superficial con agregado de 3/4".

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G}\right) T + V$$

La cantidad de asfalto es:

$$A = 5.61 \left[e \left(\frac{1.33 Q}{W} \right) \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) \right] T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.42 \left(\frac{1.33 (19.45)}{93.95} \right) \left(1 - \frac{93.95}{62.4 * 2.72} \right) \right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.39 \frac{\text{Gals}}{y^2}$$

Realizando ajuste para emulsión.

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A \right)$$

$$A_e = 0.39 + 0.40 \left(\frac{0.39}{0.65} - 0.39 \right)$$

$$A_e = 0.47 \frac{\text{Gals}}{y^2} = 0.56 \frac{\text{Gals}}{m^2}$$

Cantidad de agregado para la segunda capa: Agregado de 3/8" procedente de la Cantera El Castaño.

Cantidad de agregado para la segunda capa de 3/8" del tratamiento superficial doble:

$$W = \frac{1392 \text{kg}}{1 \text{m}^3} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28 \text{ pie})^3} = \frac{86.78 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Q = \frac{w}{A} = \frac{1774 \text{ grs}}{0.237 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ grs}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \times \frac{(0.9144 \text{ m})^2}{1 \text{ y}^2} = \frac{13.77 \text{ lb}}{y^2}$$

Entonces la cantidad de agregado es:

$$S = \frac{27 \left(86.78 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right)}{13.77 \frac{\text{lb}}{\text{y}^2}}$$

$$S = \frac{170.16 \text{y}^2}{\text{y}^3}$$

Convirtiendo las unidades de y^2/y^3 a Kg/m^2

$$170.16 \text{y}^2 \text{ equivalen a } 1 \text{y}^3$$

$$170.16 \text{y}^2 = 142.28 \text{m}^2$$

$$1 \text{y}^3 = 0.7645 \text{m}^3$$

$$142.28 \text{m}^2 \text{ equivalen a } 0.7645 \text{m}^3$$

Peso volumétrico del agregado $1394 \text{kg}/\text{m}^3$.

Peso del agregado = Peso Volumétrico x Área utilizada.

$$P = \left(1394 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times (0.7645 \text{m}^3)$$

$$P = 1065.71 \text{Kg}$$

Encontrando la tasa de aplicación del agregado.

$$S = \frac{1065.71 \text{Kg.}}{142.28 \text{m}^2}$$

$$S = 7.49 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$$

Cantidad de asfalto para la segunda capa del tratamiento superficial con agregado de 3/8" procedente de la cantera El Castaño.

$$A = 5.61E \left(1 - \frac{W}{62.4 G} \right) T + V$$

$$A = 5.61 \left[0.32 \left(\frac{1.33 (13.77)}{86.78} \right) \left(1 - \frac{86.78}{62.4 * 2.22} \right) \right] 1.15 + 0.06$$

$$A = 0.22 \frac{\text{Gals}}{y^2}$$

Ajuste para emulsión:

$$A_e = A + K \left(\frac{A}{A_{\text{residual}}} - A \right)$$

$$A_e = 0.22 + 0.40 \left(\frac{0.22}{0.65} - 0.22 \right)$$

$$A_e = 0.27 \frac{\text{Gals}}{y^2} = 0.32 \frac{\text{Gals}}{m^2}$$

3.8 Tablas Comparativas de los diseños por los Métodos de la Dimensión

Mínima Promedio (DMP) y el Método de Texas DOT (TxDOT).

En las siguientes tablas, (tabla 3.12), (tabla 3.13) y (tabla 3.14) se muestra un resumen de las distintas cantidades de agregado y ligante asfáltico para los materiales de las diferentes canteras.

Agregado de la Cantera El Castaño.				
Capa	Material	Método		Diferencia
		DMP	TxDOT	
1	Agregado	15.26 kg/m ²	15.23 kg/m ²	
	Asfalto	0.75 gal/m ²	1.20 gal/m ²	37.50 %
2	Agregado	12.00 kg/m ²	7.49 kg/m ²	
	Asfalto	0.25 gal/m ²	0.32 gal/m ²	21.88 %

Tabla 3.12 Comparación de diseños Cantera El Castaño.

Fuente: Propia.

Agregado de la Cantera La Hulera.				
Capa	Material	Método		Diferencia
		DMP	TxDOT	
1	Agregado	11.74 kg/m ²	10.57 kg/m ²	
	Asfalto	0.39 gal/m ²	0.56 gal/m ²	30.36 %
2	Agregado	8.58 kg/m ²	8.72 kg/m ²	
	Asfalto	0.31 gal/m ²	0.39 gal/m ²	20.51 %

Tabla 3.13 Comparación de diseños Cantera La Hulera.

Fuente: Propia.

Agregado de la Cantera de Suchitoto.				
Capa	Material	Método		Diferencia
		DMP	TxDOT	
1	Agregado	14.60 kg/m ²		
	Asfalto	0.72 gal/m ²		
2	Agregado	7.55 kg/m ²		
	Asfalto	0.22 gal/m ²		

Tabla 3.14 Resultados de diseño de la Cantera de Suchitoto.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO, ELABORACIÓN DE LISTA DE CHEQUEO (“CHECK LIST”), PROBLEMAS, SOLUCIONES Y EVALUACIONES DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DOBLES.

4.1 Proceso Constructivo.

Se entiende por proceso constructivo la secuencia de los distintos procesos, sistemas y métodos disponibles para hacer realidad una obra siguiendo para ello un conjunto ordenado de reglas o prácticas constructivas basadas en la experiencia y en los conocimientos técnicos y científicos disponibles en ese momento, todo ello para conseguir construcciones útiles, seguras, económicas, estéticas, medioambientalmente aceptables y, a ser posible, perdurables en el tiempo.

4.1.1 Equipos empleados en la construcción de los tratamientos superficiales dobles.

Los equipos empleados para la construcción de tratamientos superficiales son un distribuidor de agregados, distribuidor de asfalto, rodos y barredoras mecánicas. Estos equipos tienen una importancia crucial en la calidad del producto final. Dichos equipos deben conservarse bien ajustados y en buena condición operativa utilizando mantenimiento rutinario e inspecciones frecuentes, orientadas a desgaste excesivo, roturas y calibración.

- Distribuidor de Asfalto

De la maquinaria utilizada en la construcción de tratamientos superficiales, el distribuidor de asfalto es la pieza más importante (Imagen 4.1). Se utiliza para aplicar uniformemente la emulsión asfáltica sobre la superficie en la cantidad especificada. El distribuidor consiste de un tanque aislado montado sobre un camión o sobre un semi-remolque, con controles para fijar la distribución unitaria de aplicación del asfalto. En la parte trasera del tanque, hay una barra equipada con boquillas, a través de las cuales pasa el asfalto a presión, lanzado sobre la superficie del pavimento. Las barras de riego pueden cubrir anchos de 3 a 9 metros (10 a 30 pies) en una sola pasada, dependiendo de la capacidad de la bomba. Se dispone también de un regador manual, para aplicar la emulsión en aquellas áreas inaccesibles a la barra de riego.

El tanque del distribuidor tiene, típicamente, una capacidad de 3000 a 20800 litros (800 a 5500 galones). El tanque tiene un sistema de circulación que incluye la barra de riego. El tanque también está equipado con uno o más calentadores, utilizados para llevar el asfalto emulsificado a la adecuada temperatura de riego. Debe ponerse extremo cuidado cuando se emplean estos calentadores. Si las temperaturas son demasiado altas, puede tener lugar la rotura prematura de la emulsión. Si han de usarse calentadores, la emulsión debería estar circulando en el tanque cuando se aplica el calor, y no deberían permitirse excesivas temperaturas.

Dos ajustes extremadamente importantes son el ángulo de las boquillas y la altura de la barra de riego. El ángulo de la abertura de las boquillas debe ajustarse de modo que los chorros no interfieran entre sí y para asegurar un riego uniforme, la barra debe estar ajustada y mantenida a la correcta altura por encima de la superficie del pavimento. Si el ajuste es muy alto, el viento puede desviar los abanicos de riego. Los mejores resultados usualmente se logran con una exacta cobertura doble, pero a veces puede aplicarse una triple cobertura con barras con boquillas espaciadas 100 mm (4 pulgadas).

En la mayoría de los distribuidores, y como equipamiento standard, hay tres controles. Uno es un sistema a válvula que gobierna el flujo de material asfáltico. Otro es un tacómetro en la bomba o un medidor de presión que registra el volumen de salida de la bomba. El tercero es un bitómetro con un odómetro que indica el número de metros (pies) por minuto y la distancia total recorrida.

A pesar de los controles precisos que hay en un distribuidor, es siempre aconsejable verificar la distribución unitaria de aplicación en el campo. Esto puede hacerse con una bandeja plana de metal, cuya área es exactamente un metro cuadrado (o una yarda cuadrada). Si no se dispone de una bandeja, también pueden usarse una hoja de papel grueso o de cartón. La bandeja se pesa y coloca en la superficie a ser regada. Inmediatamente después de que el distribuidor ha pasado, se retira la bandeja y se vuelve a pesar. La diferencia entre ambos pesos es la emulsión asfáltica.



Imagen 4.1 Distribuidor de Asfalto.

- Distribuidor de Agregados.

El distribuidor de agregados (Imagen 4.2) sigue en orden de importancia al distribuidor de asfalto. El distribuidor de agregados aplica una cantidad uniforme de agregados con una distribución unitaria especificada. Los distribuidores van desde el tipo sencillo, adosado al fondo de la caja del camión hasta la unidad autopropulsada de alto rendimiento.

Los distribuidores mecánicos de agregados contienen tolvas y un sistema de distribución incorporado para asegurar una uniforme distribución de la cantidad de agregados a todo lo ancho de la calle.

El distribuidor de agregados auto-propulsado posee una criba preliminar de malla ancha por encima de la tolva receptora y puede haber una criba inclinada, que permite a las partículas de mayor tamaño caer en la película de asfalto primero, seguidas de las partículas más finas, las que pasan a través de la criba. Este sistema asegura que las partículas de mayor tamaño estén lo suficientemente

recubiertas de asfalto para mantenerse en su lugar. La unidad auto-propulsada tiene la ventaja de poder seguir muy de cerca al distribuidor de asfalto, con mínimas detenciones para reponer los camiones con agregados.

Los distribuidores mecánicos de agregado auto-propulsados deberían ser calibrados para aplicar el volumen de diseño de la capa de agregados para cualquier proyecto dado. El equipo necesario para esta tarea puede ser muy sencillo.

Para calibrar el equipo se hacen varias pasadas a diferentes velocidades y aberturas de la compuerta sobre charolas que se pesan para determinar si la cantidad puesta es la necesaria para el proyecto, con esto se puede determinar rápidamente la abertura y la velocidad necesarias para aplicar la hilada de agregado con la distribución unitaria especificada por metro cuadrado o yarda cuadrada.



Imagen 4.2 Distribuidor de Agregados.

- Compactadores Mecánicos.

El rodillo se encarga de incrustar los agregados dentro del ligante asfáltico, favoreciendo una mejor adherencia. Si la capa de agregados no está adecuadamente empotrada en la película asfáltica, parte de las partículas pueden perderse debido a la abrasión del tránsito. Para los tratamientos superficiales, los rodillos neumáticos dan los mejores resultados (Imagen 4.3). Los rodillos neumáticos fuerzan la penetración del agregado dentro del ligante asfáltico, sin triturar sus partículas. Los neumáticos ejercen presión en las pequeñas depresiones, resultando en un mejor acomodamiento de las partículas.



Imagen 4.3 Compactador Neumático.

Los compactadores de tambor de acero o rodos lisos de acero (Imagen 4.4) se usan para este tipo de tratamiento superficial y se hacen las pasadas sin activar la vibración porque estas pueden fracturar a los agregados. Si se utiliza este tipo de compactador la velocidad es muy importante ya que si es demasiado alta o demasiado baja el rodillo puede desalojar al agregado, la velocidad debe de ser

moderada y sin vibración para obtener los mejores resultados. Estos también se utilizan en los bordes donde las llantas del compactador neumático no logran acomodar el agregado.



Imagen 4.4 Compactadores de tambor de acero o rodos lisos de acero.

- Barredoras Mecánicas.

Si la superficie a ser cubierta no está completamente limpia, existe la posibilidad de que el asfalto no adhiera a la base. Por lo tanto, es necesario limpiar toda la superficie antes de regar la emulsión asfáltica (Imagen 4.5). Las barredoras mecánicas se emplean también para remover partículas sueltas luego de que el tratamiento ha sido completado. Es aconsejable barrer ligeramente sobre el nuevo tratamiento de superficie para impedir que el agregado ruede y por fricción desprenda el agregado del tratamiento superficial doble.



Imagen 4.5 Barredoras Mecánicas.

- Camiones de Volteo.

Debe disponerse de suficientes camiones de volteo (Imagen 4.6) para asegurar que la construcción del tratamiento de superficie se desarrollará sin interrupción. Frecuentes detenciones y arranques pueden causar variaciones en la distribución unitaria de agregados, y resultar en una superficie no uniforme. Escalonando los recorridos de los camiones, éstos pueden también ser empleados para rodar sobre la superficie del tratamiento recién colocado, ayudando a empotrar los agregados antes de que el rodillo comience. La velocidad de desplazamiento y giros de los camiones debe ser controlado cuidadosamente, para evitar el desprendimiento de los agregados.



Imagen 4.6 Camiones de Volteo.

4.1.2 Proceso de construcción para los tratamientos superficiales dobles.

Para la construcción de las capas de un tratamiento superficial se realiza mediante una secuencia de pasos repetitivos para cada una de las capas que lleva el tratamiento.

Los pasos a seguir en la construcción del tratamiento superficial son:

1. Tapar los baches y reparar las áreas dañadas en la base o en el pavimento existente.
2. Limpiar la superficie con una barredora autopropulsada o barredoras de cepillo rotatorio u otro método aceptado. (Imagen 4.7)



Imagen 4.7 Limpieza de la Base.

3. Regar la emulsión asfáltica con la distribución unitaria especificada y a la temperatura apropiada. (Imagen 4.8)

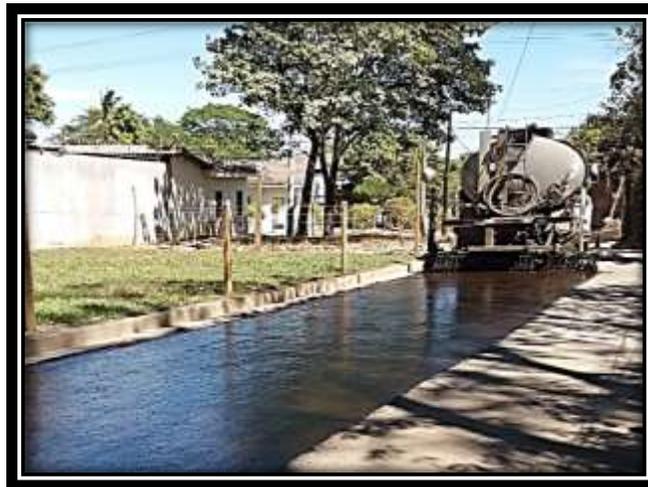


Imagen 4.8 Riego de Emulsión Asfáltica.

4. Aplicar la distribución de agregados especificada inmediatamente, de efectuada la aplicación con el riego de asfalto (la emulsión todavía tendrá color marrón) para alcanzar la máxima penetración posible de los agregados en el ligante asfáltico. (Imagen 4.9)



Imagen 4.9 Aplicación de la distribución de agregados.

5. Después continúa el rodillo para acomodar adecuadamente la capa de agregados, para que las partículas se asienten adecuadamente en el ligante asfáltico. (Imagen 4.10)



Imagen 4.10 Compactación con rodillo liso.

6. Realizar las juntas transversales y longitudinales.
 - Junta Transversal.

Cada vez que se reanude el trabajo, es necesario extender una tira de papel grueso, cartón u otro tipo de material transversalmente para que este reciba el ligante antes de empezar el tramo. De esta forma las juntas transversales quedarán con una junta transversal limpia y bien hecha conteniendo la cantidad de ligante y agregado requerido. (Imagen 4.11)



Imagen 4.11 Junta Transversal.

- Junta Longitudinal.

En este caso para la realización de la junta longitudinal, es necesario tener una precisión para poder realizar el traslape de las capas para que este reciba el ligante y el agregado necesario y no proveer de una sub-dotación de ligante y agregado. De esta forma las juntas longitudinales quedarán con una junta longitudinal limpia y bien hecha conteniendo la cantidad de ligante y agregado requerida. (Imagen 4.12)



Imagen 4.12 Junta Longitudinal.

7. Pasado un promedio de 2 a 24 horas se recomienda barrer el exceso de material, que no quedo embebido en la emulsión asfáltica. (Imagen 4.13)



Imagen 4.13 Barrido del exceso de agregado.

8. Realizar la señalización vial en la calle.(Imagen 4.14)



Imagen 4.14 Señalización.

Si se requiere un tratamiento doble o triple, los pasos 3 a 5 serán repetidos una o dos veces para obtener el tratamiento superficial que se desea.

Todos los equipos deben estar en adecuadas condiciones antes de que comience la construcción. Una adecuada provisión de agregados debiera estar disponible en el lugar de trabajo, o programarse a intervalos convenientes con adecuados camiones de transporte para permitir continuas operaciones de extendido. La necesaria cantidad de emulsión asfáltica también debiera almacenarse cerca del lugar de trabajo.

4.2 Construcción del tramo de prueba en San Miguel.

4.2.1 Localización del tramo de prueba.

El tramo de prueba se construyó en el municipio de San Miguel, departamento de San Miguel, El Salvador. Ubicado en Calle Antigua Hacienda El Sitio, frente a Residencial Hacienda San Mauricio.

4.2.2 Proceso de construcción.

El tramo de prueba se construyó el día Martes 9 de Febrero de 2016, el cual tiene una longitud de 100 metros. El agregado que se usó es proveniente de la Cantera la Hulera ubicada en el departamento de Usulután, El Salvador; mientras que la emulsión utilizada fue del tipo CRS-2HPE, adquirida por el constructor a la empresa que distribuye y comercializa las emulsiones en el país.

Las tasas de agregado y emulsión colocadas fueron las calculadas por medio del Método de la Dimensión Mínima Promedio para los agregados de la Cantera La Hulera, los cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla (Tabla 4.1).

CAPA	MATERIAL	TASA DE APLICACIÓN
3/4"	Agregado	11.74 kg/m ²
	Asfalto	0.39 gal/m ²
3/8"	Agregado	8.56 kg/m ²
	Asfalto	0.31 gal/m ²

Tabla 4.1 Dosificación utilizada para el Tramo de Prueba.
Fuente: Propia.

Las actividades que se desarrollaron para la construcción del tramo fueron las siguientes:

1. Preparación y limpieza de la Base.



Imagen 4.15 Limpieza de la base.

2. Aplicación del Ligante Asfáltico.



Imagen 4.16 Aplicación de emulsión para la primera capa de 3/4".



Imagen 4.17 Aplicación de emulsión para la segunda capa de 3/8".

3. Aplicación de la cantidad de agregado.



Imagen 4.18 Aplicación de agregado para la primera capa de 3/4”.



Imagen 4.19 Aplicación de agregado para la segunda capa de 3/8”.

4. Compactación del agregado.



Imagen 4.20 Compactación de la primera capa del tratamiento superficial.



Imagen 4.21 Compactación de la segunda capa del tratamiento superficial.

4.3 Construcción del proyecto en Suchitoto.

4.3.1 Localización del proyecto.

El proyecto se inicia en la jurisdicción de Suchitoto, Cuscatlán, El Salvador y finaliza en el municipio de Cinquera, Cabañas, El Salvador.

4.3.2 Proceso de construcción.

El proyecto que se realizó consistió en 12.1 Km de tratamiento superficial doble, construyéndose entre los meses de Diciembre 2015 a Febrero 2016, en este proyecto se utilizó agregado que proviene de una Cantera situada en Suchitoto ubicada en el departamento de Cuscatlán, El Salvador; mientras que la emulsión usada fue del tipo CRS-2HPE, adquirida por el constructor a la empresa que distribuye y comercializa las emulsiones en el país.

Las tasas de agregado y emulsión colocadas fueron las calculadas por medio del Método de la Dimensión Mínima Promedio para los agregados de la Cantera de Suchitoto, los cuales se muestran en la siguiente tabla (Tabla 4.2).

CAPA	MATERIAL	TASA DE APLICACIÓN
1	Agregado	20.85 Kg/m ²
	Asfalto	0.72 Gal/m ²
2	Agregado	10.78 Kg/m ²
	Asfalto	0.22 Gal/m ²

Tabla 4.2 Dosificación utilizada para el proyecto de Suchitoto.

Fuente: Propia.

Las actividades que se desarrollaron para la construcción del tramo fueron las siguientes:

1. Preparación y limpieza de la Base.



Imagen 4.22 Limpieza de la base.

2. Aplicación del Ligante Asfáltico.



Imagen 4.23 Aplicación de emulsión para la primera capa de 3/4".



Imagen 4.24 Aplicación de emulsión para la segunda capa de 3/8".

3. Aplicación de la cantidad de agregado.



Imagen 4.25 Aplicación de agregado para la primera capa de 3/4".



Imagen 4.26 Aplicación de agregado para la segunda capa de 3/8".

4. Compactación del agregado.



Imagen 4.27 Compactación de la primera capa del tratamiento superficial doble.



Imagen 4.28 Compactación de la segunda capa del tratamiento superficial doble.

5. Limpieza del exceso de agregado.



Imagen 4.29 Limpieza del exceso en la primera capa del tratamiento superficial doble.



Imagen 4.30 Limpieza del exceso en la segunda capa del tratamiento superficial doble.

4.4 Comparación de los tramos construidos en San Miguel y Suchitoto.

La comparación de los tratamientos superficiales dobles elaborados en los municipios de San Miguel y en Suchitoto en El Salvador, consistirá primero en comparar su diseño seguidamente de su proceso constructivo.

Los materiales que se utilizaron son el resultado de una toma de decisiones, de carácter técnico, económico, propiedades físicas, y sobre todo los resultados que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio.

Para cumplir con el objetivo de la actividad, todos los materiales analizados deben ser uniformes. Los materiales analizados son agregados y emulsión.

En el mercado hay una gran variedad de agregados y emulsiones, que se ajustan básicamente al mismo principio del funcionamiento del tratamiento superficial, primeramente se inicia con la selección de las canteras que se pretende utilizar

como bancos de los agregados para nuestro proyecto, estas canteras se eligen por su cercanía al proyecto, economía, por el tipo de agregado que explotan, entre otras. Ya con los resultados de los ensayos a los agregados se determina cual es la mejor emulsión a utilizar en esta decisión es conveniente conocer las condiciones climáticas que el lugar presenta, las características de los agregados para una mejor adherencia entre agregado y emulsión, y si es necesario solicitar el diseño de una emulsión para las condiciones propias del lugar.

Los agregados y la emulsión son los materiales principales en el diseño del tratamiento superficial doble, es decir, tienen que cumplir con su funcionamiento.

4.4.1 Diseño.

El método de diseño utilizado en la construcción de los tramos a comparar fue el Método de la Dimensión Mínima Promedio.

Los resultados en los diseños son los siguientes:

Método de la Dimensión Mínima Promedio			
Capa	Material	Tasas de aplicación	
		San Miguel	Suchitoto
1	Agregado	11.74 kg/m ²	14.60 kg/m ²
	Asfalto	0.39 gal/m ²	0.72 gal/m ²
2	Agregado	8.56 kg/m ²	7.55 kg/m ²
	Asfalto	0.31 gal/m ²	0.22 gal/m ²

Tabla 4.3 Tabla comparativa de Diseño entre San Miguel y Suchitoto.

Fuente: Propia.

Estas diferencias en las tasas de los agregados y de las emulsiones son por las características propias de los agregados que proceden de canteras distintas del país.

4.4.2 Proceso constructivo.

Como antes descritos los procesos de construcción de los tramos de San Miguel y Suchitoto ambos cumpliendo con los siguientes pasos:

- Limpieza de la superficie con una barredora autopropulsada o barredoras de cepillo rotatorio u otro método aceptado.
- Riego de la emulsión asfáltica con la distribución unitaria especificada y a la temperatura apropiada.
- Aplicación de la cantidad de agregado especificada inmediatamente luego de la aplicación con el riego de asfalto (la emulsión todavía deberá tener color marrón) para alcanzar la máxima penetración posible de los agregados en el ligante asfáltico.

Teniendo las diferencias notorias en:

- La compactación con el rodillo para acomodar adecuadamente la capa de agregados, ya que en San Miguel se realizaron con dos rodillos lisos de acero y en Suchitoto se realizaron con un rodillo neumático y un rodillo liso de acero para que las partículas se asienten adecuadamente en el ligante asfáltico.

- La realización las juntas transversales y longitudinales, en San Miguel solo se realizaron juntas longitudinales, teniendo el cuidado para no tener un exceso de ligante asfáltico y agregado en el eje de la vía, la junta transversal no se realizó debido a que era el inicio de la aplicación.
- El barrido del exceso de material, que no quedo embebido en la emulsión asfáltica. Esta acción solo se realiza en el tramo de Suchitoto.
- Realización de la señalización vial en la calle. Esta actividad solo se realizó en tramo construido en Suchitoto.

4.5 Problemas y soluciones de los tratamientos superficiales dobles.

4.5.1 Problemas¹⁷.

La mayoría de los problemas con los tratamientos de superficiales se debe al incumplimiento de buenas prácticas de construcción. Y aun empleando agregados y emulsiones asfálticas de la más alta calidad, el resultado puede ser un tratamiento de superficie de inferior calidad, a menos que se sigan pautas estrictas. Intentar métodos rápidos de construcción o construir durante mal tiempo probablemente dará como resultado un mal resultado con mayor necesidad de mantenimiento.

¹⁷ Emulsiones Asfálticas Publicación Técnica de Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC).

Las operaciones constructivas de tratamientos de superficie no debieran realizarse durante períodos de tiempo frío, húmedo o lluvioso, ya que la emulsión asfáltica puede no romper o curar adecuadamente a bajas temperaturas y, consecuentemente, el asfalto no "retendrá" satisfactoriamente al agregado.

Los tratamientos de superficie no debieran construirse cuando llueve, cuando amenaza llover, o sobre una base húmeda. El agua puede causar la pérdida, desde la capa de agregado a la emulsión parcialmente curada.

Dentro de los tratamientos superficiales pueden haber una gran variedad de causas para el deterioro: Cuantitativamente (la intensidad de la carga del tránsito), cualitativamente (la naturaleza del tratamiento y sus componentes) o aleatorio (condiciones climáticas, contaminación accidental).

Los problemas que se generan en los tratamientos superficiales pueden ser de dos tipos: por un deterioro temprano y por el tiempo.

4.5.1.1 Deterioro temprano en los tratamientos superficiales.

Los problemas que se generan a temprana edad pueden ser:

4.5.1.1.1 Desprendimientos o pérdida de agregados generalizados.

El desprendimiento es inmediato y persistente. El agregado no fija al ligante asfáltico.

Las posibles causas pueden ser:

- Las exigencias del camino exceden la capacidad del tratamiento superficial.

- El ligante no es el adecuado para las condiciones del tránsito (la viscosidad o cohesión es muy baja).
- La tasa de aplicación de ligante es muy baja.
- La adhesión global entre el ligante y agregado es inadecuada, debido a condiciones en el camino como mucha humedad ya sea durante la aplicación o el periodo posterior a la aplicación.
- El tratamiento superficial es demasiado sensible a las condiciones de tránsito.
- El flujo del ligante en el acotamiento carece de emulsión (la emulsión es muy fluida).
- El agregado se aplicó hasta después de que la emulsión empezó a romper.
- La compactación no es suficiente.
- El camino es abierto al tránsito demasiado pronto.
- Lluve poco después de que el tratamiento superficial ha sido colocado y no se previó una desviación del agua o cubrir el tratamiento recién construido.
- Calidad variable de agregados, gradación o limpieza.

4.5.1.1.2 Estrías longitudinales.

Se trata de la aplicación no uniforme de la emulsión asfáltica en la superficie del camino. Las estrías longitudinales se manifiestan como bandas de asfalto, alternativamente anchas o angostas, que corren paralelas al eje, las estrías no

sólo tienen una apariencia desagradable, también pueden reducir sustancialmente la vida útil del tratamiento superficial debido a la pérdida de agregados. Si una estría coincide con el eje longitudinal del tratamiento superficial puede ser causada por falta o exceso de emulsión asfáltica en la junta entre dos aplicaciones.

Entre las causas de las estrías longitudinales tenemos:

- Inadecuada altura de la barra de riego, originando un incorrecto traslape de los abanicos de riego.
- Cambio en la altura de la barra de riego, a medida que la carga del distribuidor disminuye.
- Las boquillas de la barra de riego no tienen el ángulo correcto, o no todas tienen el mismo ángulo, o tienen un tamaño incorrecto, o tienen diferentes tamaños, están obstruidas total o parcialmente, o tienen imperfecciones.
- Incorrecta velocidad o presión de la bomba de emulsión asfáltica.
- Emulsión asfáltica demasiado fría.
- La viscosidad de la emulsión asfáltica demasiado alta para las condiciones existentes y para los equipos.

4.5.1.1.3 Peladura.

La totalidad de la capa de rodadura (agregado + ligante) se despegas del soporte en placas de tamaño variable.

Las posibles causas son:

- La base no se encuentra limpia y seca, o se encuentra contaminada durante la aplicación de la emulsión.

Restos de ligante sin agregados sobre la calzada y adheridos a los neumáticos, lo que provoca desprendimientos especialmente en las bandas de rodadura. Puede ser consecuencia de la concentración de asfalto en la superficie.

4.5.1.2 Deterioro por el tiempo de construcción de los tratamientos superficiales.

Los problemas ya mencionados pueden producirse con un cierto retraso, especialmente si las condiciones atmosféricas se tornan desfavorables súbitamente.

4.5.1.2.1 Desprendimientos en verano.

Se producen en los periodos de mucho calor, en los que el ligante tiene poca cohesión debido a que es demasiado susceptible a la temperatura.

4.5.1.2.2 Exudación.

En esto caso la superficie es demasiado rica en asfalto. La exudación puede originar una condición riesgosa (superficie lisa, resbaladiza), especialmente durante tiempo húmedo.

Las causas más comunes de exudación en un tratamiento superficial son:

- Una inadecuada aplicación de la distribución unitaria de la emulsión asfáltica.

- Inadecuada aplicación de agregados o presión de vapor de agua proveniente de la base o de la sub-rasante resultando en el afloramiento del asfalto.
- La exudación puede deberse también a una exudación preexistente de la vieja superficie.

4.5.1.3 Otras causas del deterioro.

4.5.1.3.1 Técnica incorrecta de construcción.

La construcción incorrecta es causada por la falta de atención al detalle durante la ejecución del trabajo o mantenimiento defectuoso del equipo. Se pueden mencionar las siguientes causas:

- Definición insuficiente al principio o final de las franjas.
- Manchas o acumulaciones de ligante en el camino (ligante arrastrado por vehículos).
- Boquillas goteando (manchas).
- Desplazamiento errático del aspersor de ligante.
- Mal empalme de las juntas longitudinales.
- El borde de la carpeta no está alineado correctamente con el borde del pavimento.

4.5.1.3.2 Contaminación diversa.

Numerosos tipos de contaminación (materia orgánica, hidrocarburos) pueden tener consecuencias nefastas en los tratamientos superficiales.

4.5.1.3.3 Escarificaciones del tratamiento.

Pueden ser causadas por maquinaria agrícola equipada con ruedas macizas, o maquinaria pesada con un neumático pinchado. El mismo tipo de problema se puede producir debido a un accidente de tránsito.

4.5.2 Soluciones¹⁸.

Para prevenir el deterioro, se requiere un conocimiento detallado de las técnicas que pueden ocasionar los defectos listados previamente. Una vez que el daño se ha ocasionado, el costo de la reparación es generalmente considerable, comparado con el costo inicial de construcción.

Hay solo unas pocas acciones correctivas distintas pero realizarlas es una acción delicada. Las acciones correctivas apropiadas se pueden decidir si el defecto ha sido perfectamente identificado y la causa está bien entendida. Debido generalmente a la alta velocidad de degradación, la efectividad del tratamiento correctivo depende del tiempo que tarde en llevarse a cabo dicho tratamiento. Las soluciones presentadas aquí se han aplicado con éxito.

4.5.2.1 Desprendimiento, pérdida de agregados y peladuras.

Usualmente la pérdida de agregado superficial es causada por un ligante defectuoso (la tasa de aplicación es muy baja o le falta cohesión) o falta de adhesión (agregados sucios o una afinidad escasa entre el ligante y el agregado).

¹⁸ Emulsiones Asfálticas Publicación Técnica de Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC).

Una solución posible es la conversión del tratamiento superficial en una multicapa mediante la aplicación de un solo sello de emulsión tan pronto como sea posible. Si llegara a llover durante la aplicación, el tratamiento superficial debe ser puesto a salvo mediante el desvío del tránsito y luego dispersando una capa y compactado en varias pasadas, preferiblemente con un compactador neumático.

4.5.2.2 Exudación.

Si la exudación es extensiva y ha llegado a la etapa de pelarse, no hay solución milagrosa. Entonces es imposible evitar una solución costosa como raspar y remover la superficie existente y posteriormente aplicar un nuevo tratamiento superficial.

4.6 Evaluación del tratamiento superficial doble.

La evaluación se realiza solamente al tramo de prueba construido en San Miguel, El Salvador, en estas evaluaciones se verifica que el tratamiento superficial doble construido no presente ningún problema anteriormente descrito.

Las evaluaciones se realizaron mensualmente después de construido el tramo de prueba, a continuación en la Tabla 4.4, Tabla 4.5 y Tabla 4.6 se presentan las evaluaciones realizadas.

EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE		
Evaluación de la condición del tramo de prueba.		
Zona	Est. Inicial	Est. Final
San Miguel	0 + 000	0 + 100
Unidad de Muestreo	Área de muestreo (m ²)	
100 m	650	
Inspeccionada por:		Fecha:
Josué Hernández Karla Rosales Wilfredo Trigueros		05 Marzo 2016
N°	Daño	
1	Desprendimientos o pérdida de agregados generalizados.	
2	Estrías longitudinales.	
3	Peladura.	
4	Exudación.	
Daño	Severidad	Total

ESQUEMA.



Reporte Fotográfico	
	
<ul style="list-style-type: none"> • En estas imágenes se puede observar que el agregado se ha desprendido, este agregado desprendido es el que no se limpió después de construido dejando así un exceso de agregado. • Pero limpiando la superficie se puede observar que el tratamiento superficial no presenta ningún daño. 	

Tabla 4.4 Primera evaluación de condición de tratamiento superficial doble.

EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE		
Evaluación de la condición del tramo de prueba.		
Zona	Est. Inicial	Est. Final
San Miguel	0 + 000	0 + 100
Unidad de Muestreo	Área de muestreo (m ²)	
100 m	650	
Inspeccionada por:		Fecha:
Josué Hernández Karla Rosales Wilfredo Trigueros		09 Abril 2016
N°	Daño	
1	Desprendimientos o pérdida de agregados generalizados.	
2	Estrías longitudinales.	
3	Peladura.	
4	Exudación.	
Daño	Severidad	Total

ESQUEMA.



Reporte Fotográfico



- En estas fotografías aun se puede observar el exceso de agregado que no se ha barrido despues de haberse construido el tramo.
- Pero haciendo limpieza en lugares puntuales no se presentan daños en la superficie del tratamiento superficial doble.

Tabla 4.5 Segunda evaluación de condición de tratamiento superficial doble.

EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	
	
<ul style="list-style-type: none">• Barriendo, limpiando y lavando la capa superficial del agregado se puede observar que el tratamiento superficial construido aun no presenta ningun tipo de daño en su capa superficial.	

Tabla 4.6 Tercera evaluación de condición de tratamiento superficial doble.

4.7 Elaboración de lista de chequeo (“check list”).

Las listas de control, listas de chequeo, check list u hojas de verificación, son formatos creados para realizar actividades repetitivas, controlar el cumplimiento de una lista de requisitos o recolectar datos ordenadamente y de forma sistemática. Se usan para hacer comprobaciones sistemáticas de actividades o productos asegurándose de que el trabajador o inspector no se olvida de nada importante.

4.7.1 Usos de un check list.

Los usos principales de un check list son los siguientes:

- Realización de actividades en las que es importante que no se olvide ningún paso y/o deben hacerse las tareas con un orden establecido.
- Realización de inspecciones donde se debe dejar constancia de cuáles han sido los puntos inspeccionados.
- Verificar o examinar procesos.
- Examinar o analizar la localización de defectos, verificar las causas de los defectos.
- Verificación y análisis de operaciones.
- Recopilar datos para su futuro análisis.

En definitiva, estas listas suelen ser utilizadas para la realización de comprobaciones rutinarias y para asegurar que al operario o el encargado de

dichas comprobaciones no se le pasa nada por alto, además de para la simple obtención de datos.

La ventaja de los check list es que, además de sistematizar las actividades a realizar, una vez rellenos sirven como registro, que podrá ser revisado posteriormente para tener constancia de las actividades que se realizaron en un momento dado.

Es importante que las listas de control queden claramente establecidas e incluyan todos los aspectos que puedan aportar datos de interés para los procesos. Es por ello que es preciso que queden correctamente recogido en la lista de control los siguientes puntos:

- Qué tiene que controlarse o chequearse.
- Cuál es el criterio de conformidad o no conformidad (qué es lo correcto y qué lo incorrecto).
- Cada cuánto se inspecciona: frecuencia de control o chequeo.
- Quién realiza el chequeo y cuáles son los procedimientos aplicables.

Conviene, por último, que se disponga de un apartado de observaciones con el fin de poder obtener información previa sobre posibles motivos que han causado la disconformidad.

4.7.2 Aspectos a verificar por medio del check list.

Algunos posibles aspectos a verificar en un check list son estos:

- ¿Se han seguido los procedimientos?

- ¿El producto cumple con las especificaciones?
- ¿Las medidas dimensionales, cantidad de agregado, tasa de emulsión, están dentro de las tolerancias?
- ¿Ha cumplido los ensayos?
- ¿Ha habido alguna incidencia?
- ¿Los equipos estaban en correcto estado de mantenimiento? ¿Y estaban calibrados / verificados?
- ¿El producto final es satisfactorio?

4.7.3 Check list de campo.

A continuación se presenta el formato de check list que mejor se adapta para el seguimiento de un tratamiento superficial doble:

LISTA DE CHEQUEO (CHECK LIST)
 Verificación de parámetros de control de inicio
 de tratamientos superficiales dobles

Encargado: _____

Cargo: _____

Fecha: _____

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Contratista: _____

Supervisión: _____

Hora de Inicio: _____

Estacionamiento de inicio: _____ Estacionamiento final: _____

1. Actividades previas.

Chequeo de Materiales.

Se encuentra disponible la cantidad de emulsión suficiente en el proyecto:

SI		NO	
SI		NO	

El agregado disponible es suficiente y se encuentra limpio y libre de finos:

SI		NO	
SI		NO	

Chequeo de la base o superficie.

Se encuentra limpia y seca:

SI		NO	
SI		NO	

Se encuentra imprimada:

SI		NO	
SI		NO	

Se le han realizado los ensayos necesarios a los materiales a utilizar y cumplen con la especificación.

Emulsión:

SI		NO	
SI		NO	

Agregados:

SI		NO	
SI		NO	

2. Equipo.

• Distribuidor de Asfalto.

La barra de riego se encuentra a la altura adecuada:

SI NO

Las boquillas están libres de obstrucciones:

SI NO

Patrón de rociado a utilizar:

Doble:

Triple:

Es correcto el patrón de rociado:

SI NO

Se ha comprobado la presión de aplicación de la emulsión:

SI NO

Se encuentra en buenas condiciones:

SI NO

La temperatura de la emulsión asfáltica es la adecuada:

SI NO

• Distribuidor de Agregado.

Las aberturas de las compuertas son las correctas:

SI NO

Se encuentra calibrado el equipo:

SI NO

El tren de distribución se encuentra a la altura adecuada:

SI NO

El equipo se encuentra en buenas condiciones:

SI NO

• Rodillos.

Rodillo que se utilizará:

Liso de acero: Liso doble tambor de acero:

Neumático:

Se encuentra en buen estado:

SI NO

La capacidad de los rodillos es la adecuada:

SI NO

• Barredoras.

Se encuentran disponible en el proyecto:

SI NO

Se encuentra en buen estado:

SI NO

La barredora mecánica que se usa genera torque:

SI NO

• Camiones de Volteo

Se encuentran en buenas condiciones:

SI NO

Se encuentran en cantidad suficiente en el proyecto:

SI NO

Tienen la capacidad adecuada para llenar el distribuidor de agregados: SI NO

3. Proceso Constructivo.

Son suficientes los camiones para el suministro de agregados:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
La colocación de agregados se inicia y se detiene con bordes rectos:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
El distribuidor de agregados sigue de cerca al distribuidor de emulsión:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
La velocidad del distribuidor de agregados es la correcta:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
El agregado se encuentra húmedo:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
La aplicación de emulsión es uniforme:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
La cantidad de agregado es uniforme:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Los rodillos siguen de cerca al distribuidor de agregados:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Se realiza la compactación necesaria:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Se respeta el procedimiento para juntas longitudinales y transversales:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
El barrido se realiza dentro del tiempo necesario:	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>

OBSERVACIONES:

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES

- Las diferencias que existen entre las cantidades de agregado y las tasas de emulsión para cada diseño realizado se debe a las características propias de cada agregado.
- La aplicación de un check list ayuda en gran manera a disminuir problemas que se pueden generar durante el proceso constructivo.
- Mediante el método de la dimensión mínima promedio (DMP) se logra una optimización de agregados y emulsión ya que este método toma en cuenta la mayor cantidad de características del agregado.
- El buen funcionamiento de un tratamiento superficial doble radica en una buena selección de materiales y un adecuado proceso constructivo.
- El diseño y proceso constructivo llevado a cabo en el tramo de prueba construido en el departamento de San Miguel, es satisfactorio ya que en el periodo de las evaluaciones realizadas, después de pasado tres meses no presentan daños en su estructura,
- Para obtener los mejores resultados de los tratamientos superficiales se deben conocer las características del agregado, el diseño, la vía en la que se implementara si esta es de bajo o alto volumen de tránsito, el

proceso constructivo; con estos factores se asegura un buen desempeño de los tratamientos superficiales dobles.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe utilizar agregados limpios y libres de cualquier sustancia química para la aplicación del tratamiento.
- Para un tratamiento superficial doble, se recomienda imprimir la base, esto deberá hacerse aplicando una capa de curado con emulsión asfáltica. Lo anterior garantizara una base impermeable, con superficie dura, y que no será objeto de desprendimientos al paso de los vehículos.
- Para continuar con el estudio del comportamiento de los tratamientos superficiales dobles, construidos en San Miguel y Suchitoto, es necesario realizar más evaluaciones mensuales.
- En el proceso constructivo para la aplicación de la cantidad de agregado en ambas capas se debe aplicar primero la emulsión, y antes que esta rompa, se aplicara agregado húmedo y se compactara para evitar que el agregado se desprenda con el tiempo.
- Existen otras metodologías de diseño para tratamientos superficiales dobles, pero en este documento solo se estudian los métodos de la Dimensión Mínima Promedio y Texas DOT por lo que se deja la inquietud en futuras investigaciones estudiar los demás métodos de diseño.
- Realizar un tramo de prueba con las tasas obtenidas mediante el método Texas DOT, para poder comparar con los datos obtenidos por medio del Método De La Dimensión Mínima Promedio, verificando así que las cantidades sean las correctas y que no presenten problemas.

- Para futuras investigaciones realizar un estudio de tránsito y generar los factores de tráfico para las condiciones propias en El Salvador.
- Para la construcción de los tratamientos superficiales los equipos de construcción se encuentren calibrados, en óptimas condiciones y verificar que la velocidad que el equipo lleva aplique las tasas correctas de diseño, sino hacer las conversiones o calibraciones necesarias para aplicar la dosis de diseño.
- Se recomienda sacar muestras de los tratamientos superficiales dobles construidos en San Miguel y Suchitoto para verificar las tasas de aplicación de Agregados y Emulsiones.

BIBLIOGRAFÍA.

- Trabajo de Graduación: “Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio”. Natalia Zúñiga García.
- Trabajo de Graduación: “Seguimiento de un Doble Tratamiento Superficial para camino de alto tránsito”. Ángela Bernardita Queirolo Menz.
- Manual for Emulsion – Based Chip Seal for Pavement Preservation NCHRP Report 680.
- Propuesta de una metodología para la evaluación del desempeño de tratamientos superficiales en laboratorio.
- Pavimentos, Texto Guía, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología.
- “MS-19 Manual Básico de Emulsiones Asfálticas”, del Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA).
- Estudio comparativo de metodologías de diseño de tratamientos superficiales bituminosos, Ing. Francisco Leiva Villacorta. Universidad Nacional de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (LANAME)
- Seal Coat and Surface Treatment Manual, por el Texas Department of Transportation.

- Emulsiones Asfálticas Publicación Técnica de Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC).

ANEXO A

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 1" de la pedrera El Castaño

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO Material: 1"
Ubicación: Carretera a Chirilagua Fecha de ensayo:
Peso inicial sin lavar: 10533 g Material fino por lavado 114 g
Peso inicial lavado: 10419 g

MALLA	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448	
		PARCIAL	ACUMULAD O		AGREGADO No. 56	
	Min.	Máx.				
1 ½"	0.00	0.0	0.0	0.0		
1"	29.60	0.28	0.0	100	100	100
¾"	3387.70	32.51	0.28	100	90	100
½"	6533.60	62.71	32.80	67	40	85.0
3/8"	343.50	3.30	95.51	4	10	40.0
No. 4	35.70	0.34	98.80	1	0.0	15.0
No. 8	5.50	0.05	99.15	1	0.0	5.0
No. 30	12.60	0.12	99.20	1		
No. 50	12.70	0.12	99.32	1		
No. 200	51.30	0.49	99.44	1		
Pasa la No. 200	6.80	0.07	99.93	0		
Σ	10419.00	100.00	100.00			

Gráfica de granulometría

Curva Granulométrica agregado de 1" de Cantera El Castaño.

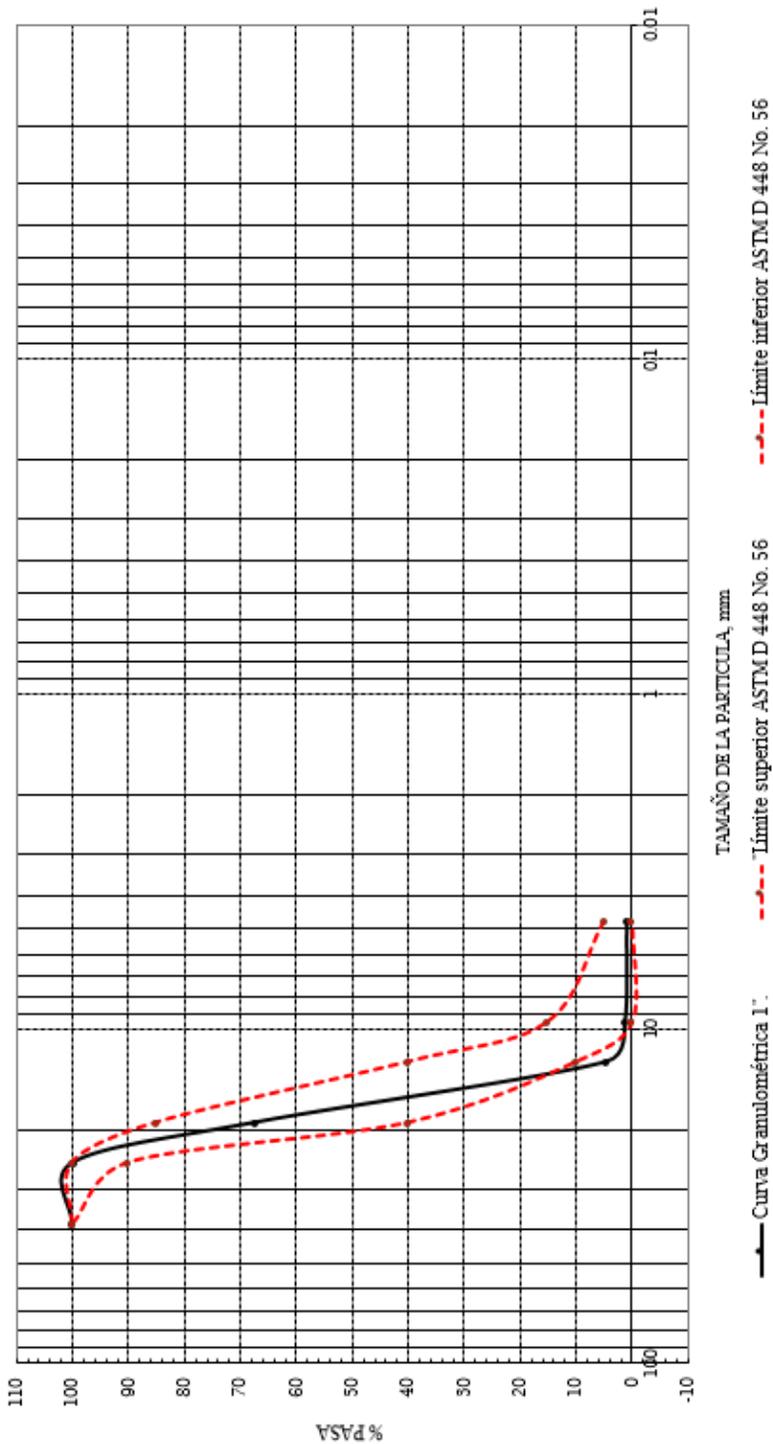


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO Material: 1"
Ubicación: Carretera a Chirilagua Fecha de ensayo:

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la Temperatura de ensayo (kg/m ³)		997.50
Muestra No.	1	2		
Masa de agregado secada al horno, grs (A)	2834.20	2845.50		
Masa de agregado S.S.S, grs (B)	3014.80	3019.20		
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)	1732.70	1729.10		Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk	2.211	2.206		2.208
Gravedad Especifica S.S.S.	2.351	2.340		2.346
Gravedad Especifica Aparente	2.573	2.549		2.561
Absorción (%)	6.37	6.10		6.20
$\frac{A}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica Seca Bulk	Densidad Seca (Kg/m ³) =	2202.60
$\frac{B}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica S.S.S.	Densidad S.S.S. (Kg/m ³) =	2340.00
$\frac{A}{(A - C)}$	=	Gravedad Especifica Aparente	Densidad Aparente (Kg/m ³) =	2554.50
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$	=	Absorción (%)	Absorción (%) =	6.20

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación.
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO
Ubicación: Carretera a Chirilagua

Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Material: 1"
Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M_2	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M_3	$\frac{(M_3/M_2) * 10}{0}$	$IL * R_i$
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	29.6	0.30	0		
1"	3/4"	3387.70	32.80	2907.60	85.80	2815.90
3/4"	1/2"	6533.60	63.30	53.10	0.80	51.40
1/2"	3/8"	343.50	3.30	22.20	6.50	21.50
3/8"	1/4"	31.20	0.30	0	0	0.00
Suma		10325.60	100			28.90

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto:	Trabajo de Graduación.	Laboratorista:	J.H, K.R, W.T
Procedencia:	CANTERA EL CASTAÑO	Material:	1"
Ubicación:	Carretera a Chirilagua	Fecha de ensayo:	
Peso del molde	6284 grs.	Suelto	✓
Diámetro del molde	15.24 cm	Varillado	
Altura del molde	11.60 cm	Golpeado	
Volumen del molde	2123.31 cm ³		

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	8790	6284	2506	2123.30	1.180
2	8784	6284	2500	2123.30	1.177
3	8778	6284	2494	2123.30	1.175
				Promedio	1.177 gr/cm ³
					1177.40 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.208	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	997.50	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1177.40	Kg/m ³
% Vacíos = 46.50					

ANEXO B

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 3/8" de la pedrera El Castaño

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO Material: 3/8"
Ubicación: Carretera a Chirilagua Fecha de ensayo:
Peso inicial sin lavar: 1636.60 g Material fino por lavado: 20.38 g
Peso inicial lavado: 1616.20 g

MALLA	PESO		% RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448	
	RETENIDO (Gr)	PARCIAL	ACUMULADO			AGREGADO No. 89	
						Min.	Máx.
1 1/2"	0.00	0.0	0.0	0.0			
1"	0.00	0.0	0.0	0.0			
3/4"	0.00	0.0	0.0	0.0			
1/2"	0.00	0.0	0.0	100	100	100	
3/8"	150.90	9.45	9.45	91	90	100	
No. 4	835.40	52.34	61.80	38	20	55	
No. 8	288.70	18.09	79.89	20	5	30	
No. 16	98.30	6.16	86.05	14	0	10	
No. 30	111.80	7.01	93.05	7	0	5	
No. 50	30.00	1.88	94.93	5			
No. 100	29.20	1.83	96.76	3			
No. 200	46.30	2.90	99.66	0			
Pasa la No. 200	5.40	0.34	100				
Σ	1596.00	100					

Gráfica de granulométrica

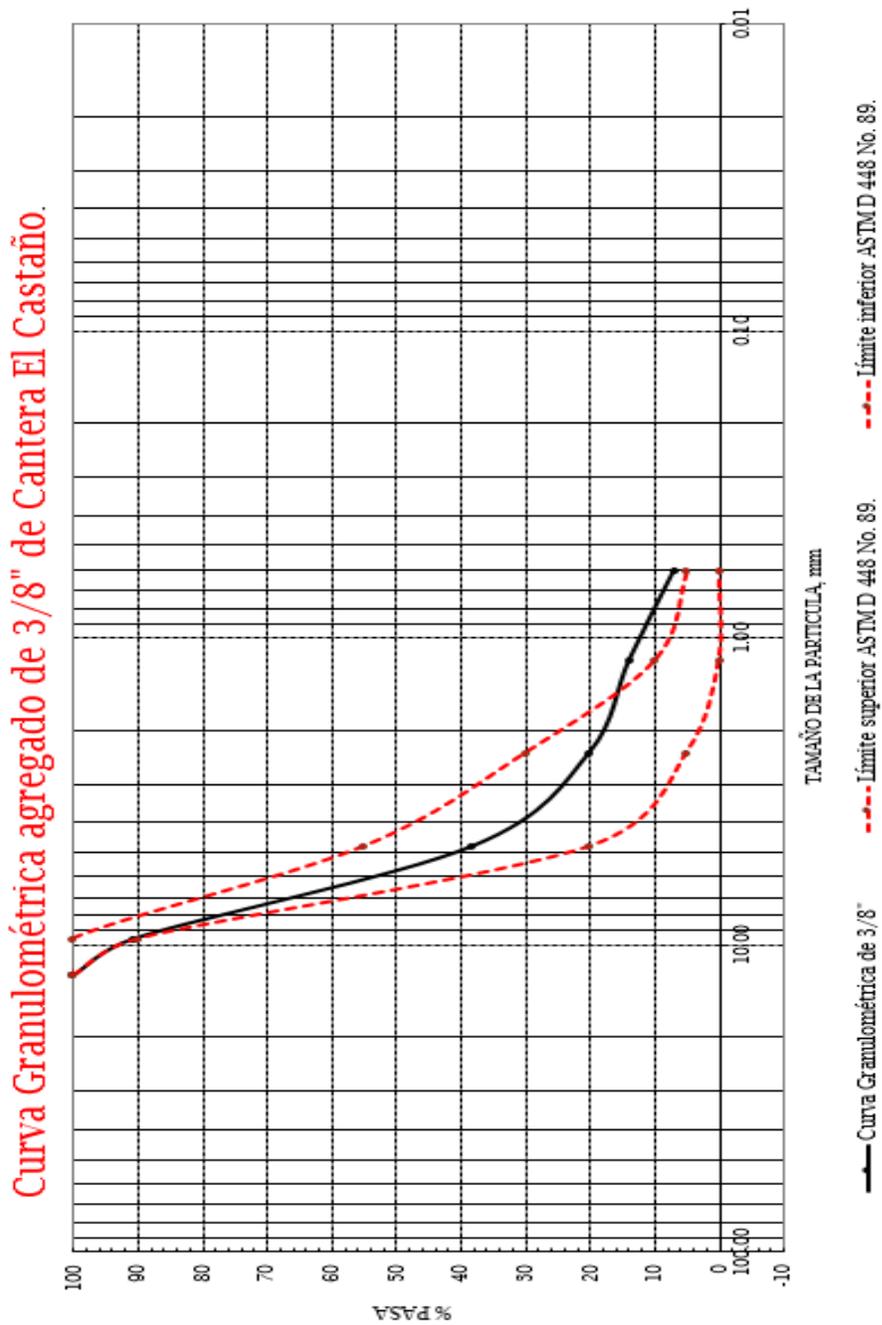


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación.

Laboratorista: J.H, K.R,
W.T

Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO

Material: 3/8"

Ubicación: Carretera a Chirilagua

Fecha de ensayo:

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m ³)	997.50
Muestra No.	1	2	
Masa de agregado secada al horno, grs (A)	1881.90	1885.30	
Masa de agregado S.S.S, grs (B)	2011.60	2011.20	
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)	1163.20	1163.20	Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk	2.218	2.223	2.221
Gravedad Especifica S.S.S.	2.371	2.372	2.371
Gravedad Especifica Aparente	2.618	2.611	2.615
Absorción (%)	6.89	6.68	6.80
$\frac{A}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica Seca Bulk	Densidad Seca (Kg/m ³) = 2215.20
$\frac{B}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica S.S.S.	Densidad S.S.S. (Kg/m ³) = 2365.40
$\frac{A}{(A - C)}$	=	Gravedad Especifica Aparente	Densidad Aparente (Kg/m ³) = 2608.10
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$	=	Absorción (%)	Absorción (%) = 6.80

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación.
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO
Ubicación: Carretera a Chirilagua

Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Material: 3/8"
Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M_2	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M_3	$\frac{(M_3/M_2) * 100}{0}$	$IL * R_i$
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	0	0	0		
1"	3/4"	0	0	0		
3/4"	1/2"	0	0	0	0	0
1/2"	3/8"	150.90	22.20	20.30	13.50	298.60
3/8"	1/4"	529.00	77.80	82.80	15.70	1217.80
Suma		679.90	100.00			15.20

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA EL CASTAÑO Material: 3/8"
Ubicación: Carretera a Chirilagua Fecha de ensayo:

Peso del molde 6284 grs. Suelto ✓
Diámetro del molde 15.24 cm Varillado
Altura del molde 11.60 cm Golpeado
Volumen del molde 2123.31 cm³

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	9242	6284	2958	2123.30	1.393
2	9240	6284	2956	2123.30	1.392
3	9250	6284	2966	2123.30	1.397
				Promedio	1.394 gr/cm ³
					1394.00 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad específica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.221	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	997.50	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1394.00	Kg/m ³
% Vacíos = 37.10					

ANEXO C

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 3/4" de la pedrera La Hulera

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA SANTIAGO DE MARIA Fecha de ensayo:

Peso inicial sin lavar: 5467 g Material fino por lavado 37 g
Peso inicial lavado: 5430 g

MALLA	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO		PORCENTAJ E QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448	
		PARCIAL	ACUMULADO		AGREGADO No. 67	
	Min.	Máx.				
1 ½ "	0.00	0.0	0.0	0.0		
1"	0.00	0.00	0.0	0.0	100	100
¾"	20.00	0.37	0.37	100	90	100
½"	1375.50	25.33	25.70	74		
3/8"	1269.00	23.37	49.07	51	20	55.0
No. 4	2550.00	46.96	96.03	4	0.0	10.0
No. 8	150.80	2.78	98.81	1	0.0	5.0
No. 30	38.70	0.71	99.52	0		
No. 50	6.00	0.11	99.63	0		
No. 200	14.00	0.26	99.89	0		
Pasa la No. 200	6.00	0.11	100			
Σ	5430.00	100.00				

Gráfica de granulometría

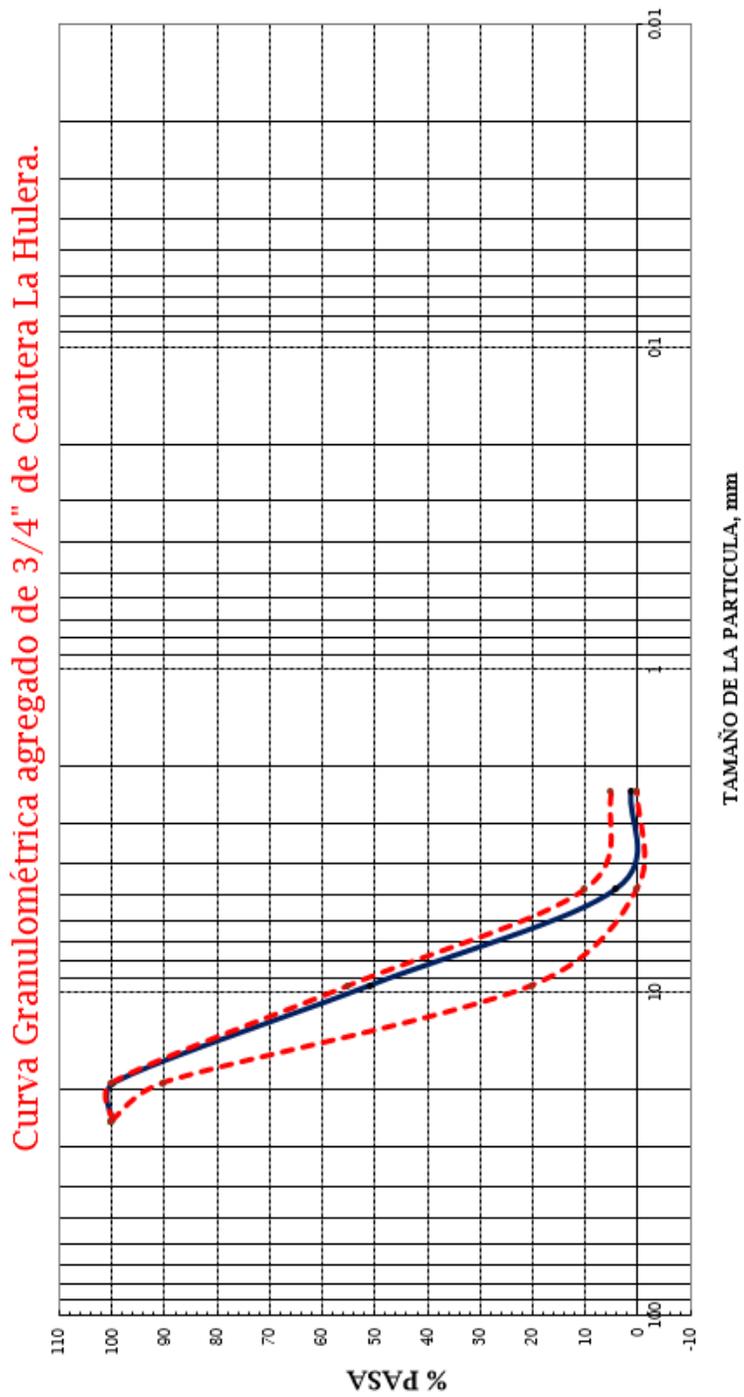


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA SANTIAGO DE Fecha de ensayo:
MARIA

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m ³)	997.50
Muestra No.	1	2	
Masa de agregado secada al horno, grs (A)	2958.50	2958.30	
Masa de agregado S.S.S, grs (B)	3005.30	3005.10	
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)	1918.40	1917.60	Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk	2.722	2.720	2.721
Gravedad Especifica S.S.S.	2.765	2.763	2.764
Gravedad Especifica Aparente	2.844	2.843	2.844
Absorción (%)	1.58	1.58	1.6
$\frac{A}{(B - C)}$ = Gravedad Especifica Seca Bulk		Densidad Seca (Kg/m ³) =	2714.30
$\frac{B}{(B - C)}$ = Gravedad Especifica S.S.S.		Densidad S.S.S. (Kg/m ³) =	2757.30
$\frac{A}{(A - C)}$ = Gravedad Especifica Aparente		Densidad Aparente (Kg/m ³) =	2836.40
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$ = Absorción (%)		Absorción (%) =	1.60

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación.
Procedencia: CANTERA LA HULERA
CARRETERA SANTIAGO DE
Ubicación: MARIA

Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Material: 3/4"
Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M_2	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M_3	$\frac{(M_3/M_2) * 10}{0}$	$IL * R_i$
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	0	0	0		
1"	3/4"	20	0.40	0	0	0
3/4"	1/2"	1375.50	29.90	481.50	35.00	1048.00
1/2"	3/8"	1269.00	27.60	291.50	23.00	634.50
3/8"	1/4"	1930	42.00	491.00	25.40	1068.70
Suma		4594.50	100.00			27.50

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA SANTIAGO DE MARIA Fecha de ensayo:

Peso del molde 6284 grs. Suelto ✓
Diámetro del molde 15.24 cm Varillado
Altura del molde 11.60 cm Golpeado
Volumen del molde 2123.31 cm³

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	9481	6284	3197	2123.30	1.506
2	9485	6284	3201	2123.30	1.508
3	9491	6284	3207	2123.30	1.510
				Promedio	1.508 gr/cm ³
					1507.90 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.721	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	997.50	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1507.90	Kg/m ³
% Vacíos = 44.40					

ANEXO D

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 3/8" de la pedrera La Hulera

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136.

Proyecto: Trabajo de Graduación.
Procedencia: CANTERA LA HULERA
CARRETERA SANTIAGO DE
Ubicación: MARIA

Laboratorista:
Material:
Fecha de ensayo:

J.H, K.R,
W.T
3/8"

Peso inicial sin lavar: 1636.60 g Material fino por lavado: 20.38 g
Peso inicial lavado: 1616.20 g

MALLA	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448 AGREGADO No. 8	
		PARCIAL	ACUMULADO		Min.	Máx.
	3/4"	0.00	0.0	0.0	0.0	
1/2"	0.00	0.0	0.0	100	100	100
3/8"	17.40	1.26	1.26	99	85	100
No. 4	1235.40	89.39	90.65	9	10	30
No. 8	92.20	6.67	97.32	3	0	10
No. 16	18.40	1.33	98.65	1	0	5
No. 30	7.10	0.51	99.17	1		
No. 50	3.60	0.26	99.43	1		
No. 100	3.00	0.22	99.65	0		
No. 200	3.60	0.26	99.91	0		
Pasa la No. 200	1.30	0.09	100			
Σ	1382.00	100				

Gráfica de granulometría

Curva Granulométrica agregado de 3/8" de Cantera La Hulera.

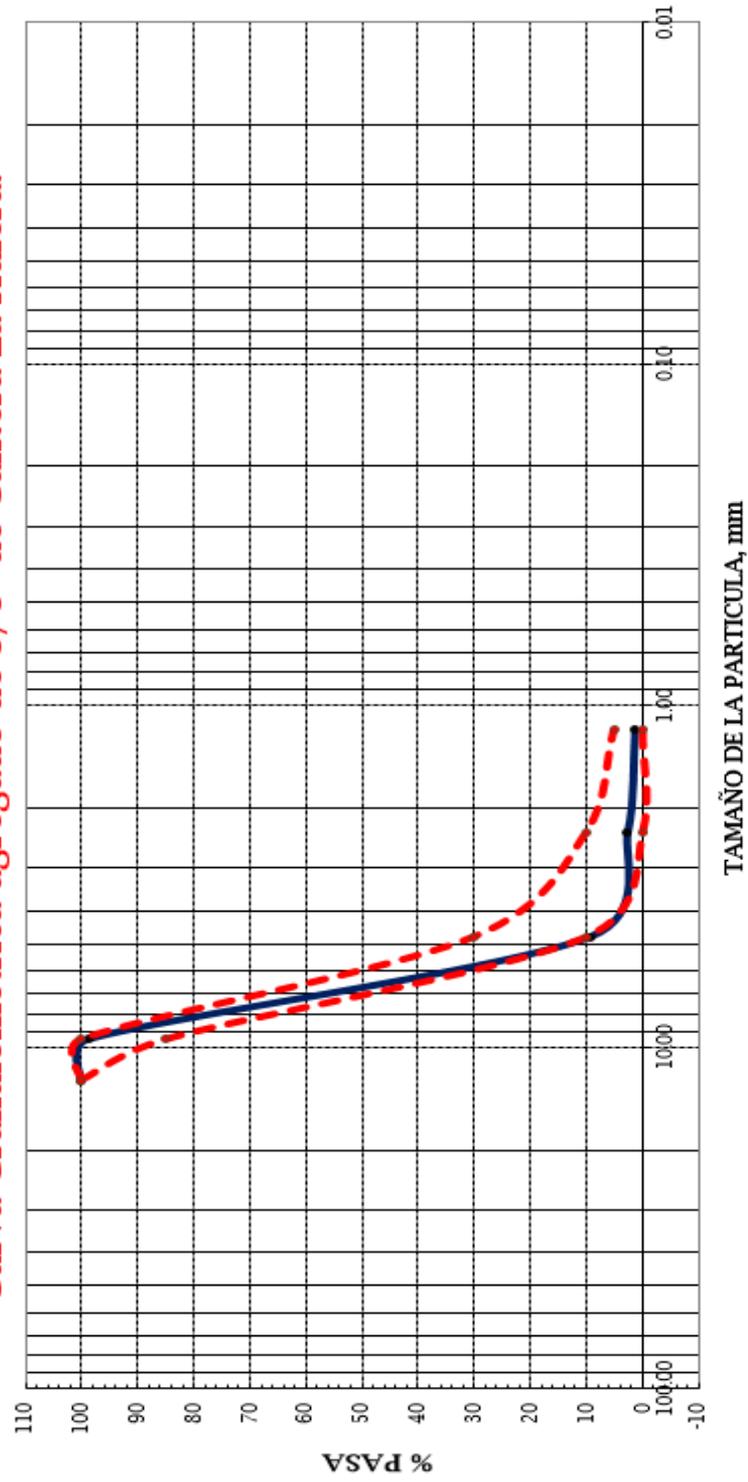


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/8"
CARRETERA SANTIAGO DE
Ubicación: MARIA Fecha de ensayo:

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m ³)	997.50
Muestra No.	1	2	
Masa de agregado secada al horno, grs (A)	1970.70	1971.40	
Masa de agregado S.S.S, grs (B)	2005	2005.10	
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)	1280.90	1280.60	Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk	2.722	2.721	2.721
Gravedad Especifica S.S.S.	2.769	2.768	2.768
Gravedad Especifica Aparente	2.857	2.854	2.855
Absorción (%)	1.74	1.71	1.70
$\frac{A}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica Seca Bulk	Densidad Seca (Kg/m ³) = 2714.50
$\frac{B}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica S.S.S.	Densidad S.S.S. (Kg/m ³) = 2761.30
$\frac{A}{(A - C)}$	=	Gravedad Especifica Aparente	Densidad Aparente (Kg/m ³) = 2848.20
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$	=	Absorción (%)	Absorción (%) = 1.70

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/8"
Ubicación: MARIA Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M_2	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M_3	$\frac{(M_3/M_2) * 100}{0}$	$IL * R_i$
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	0	0	0		
1"	3/4"	0	0	0		
3/4"	1/2"	0	0	0	0	0
1/2"	3/8"	17.40	2.10	2.90	16.70	34.70
3/8"	1/4"	818.00	97.90	146.20	17.90	1750.10
Suma		835.40	100.00			17.80

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA LA HULERA Material: 3/8"
Ubicación: CARRETERA SANTIAGO DE MARIA Fecha de ensayo:

Peso del molde 6284 grs. Suelto ✓
Diámetro del molde 15.24 cm Varillado
Altura del molde 11.60 cm Golpeado
Volumen del molde 2123.31 cm³

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	9506	6284	3222	2123.30	1.517
2	9511	6284	3227	2123.30	1.520
3	9518	6284	3234	2123.30	1.523
				Promedio	1.520 gr/cm ³
					1520.10 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.721	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	997.50	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1520.10	Kg/m ³
% Vacíos = 44.00					

ANEXO E

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 3/4" de la pedrera de Suchitoto

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Peso inicial sin lavar: 6260.00 g Material fino por lavado 43 g

Peso inicial lavado: 6217.00 g

Peso seco 6000.00 g

MALLA	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448	
		PARCIAL	ACUMULADO		AGREGADO No. 6	
	Min.	Máx.				
1 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0		
1"	0.00	0.00	0.0	100.0	100	100
3/4"	0.00	0.00	0.0	100.0	90	100
1/2"	3765.00	62.75	62.75	37.25	20	55
3/8"	1662.00	27.70	90.45	9.55	0	15
No. 4	472.90	7.88	98.33	1.67	0	5
No. 8	5.80	0.10	98.43	1.57		
No. 16	6.10	0.10	98.53	1.47		
No. 30	5.80	0.10	98.63	1.37		
No. 50	8.50	0.14	98.77	1.23		
No. 100	10.50	0.18	98.94	1.06		
No. 200	14.40	0.24	99.18	0.82		
Pasa la No. 200	6.00	0.82	100.00	0.00		
Σ	6000.00	100.00				

Gráfica de granulometría

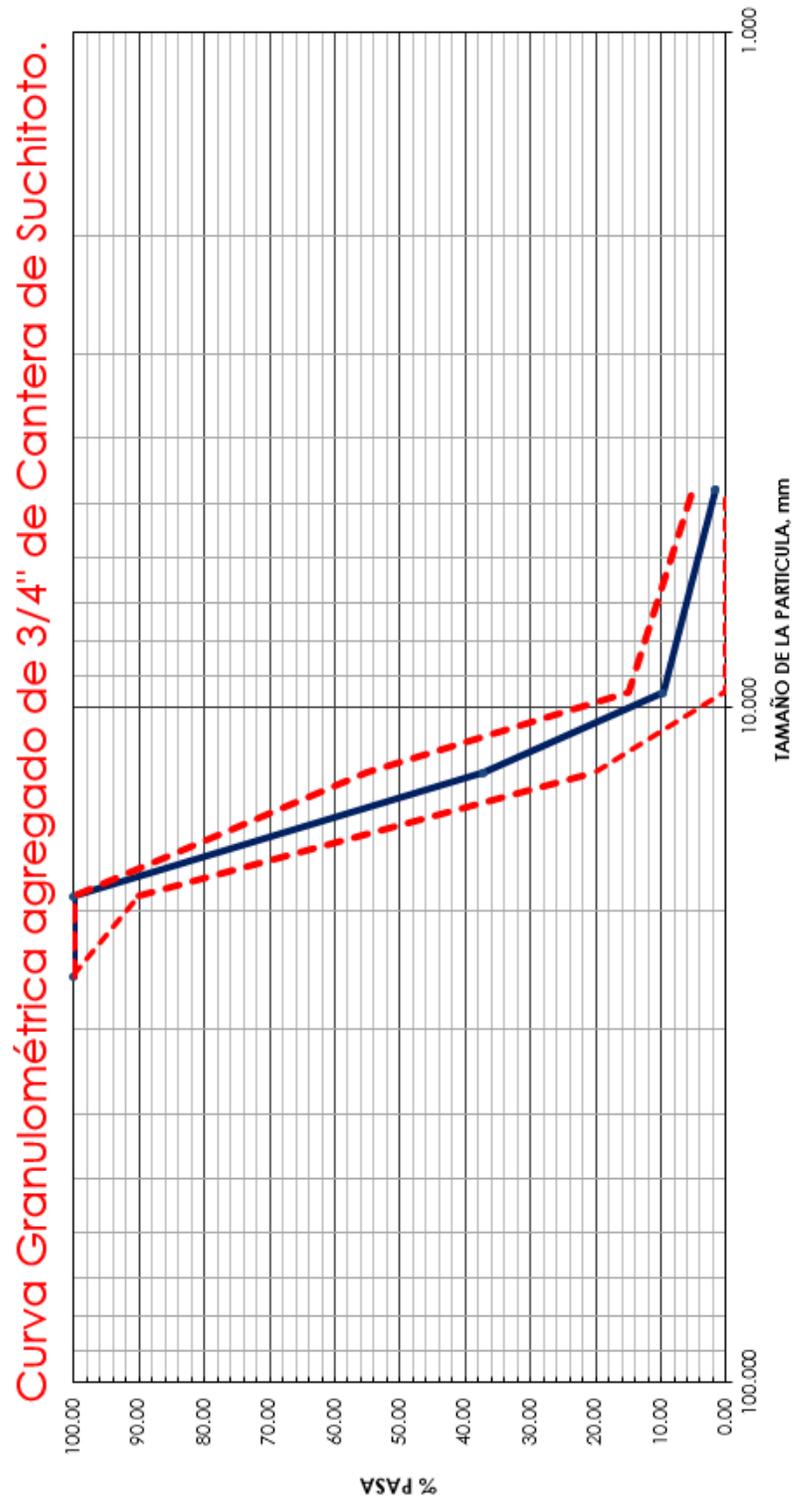


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la Temperatura de ensayo (kg/m ³)			997.50
Muestra No.		1	2	3	
Masa de agregado secada al horno, grs (A)		1464.80	1471.40	1464.30	
Masa de agregado S.S.S, grs (B)		1504.80	1508.60	1504.10	
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)		918.70	919.80	916.50	Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk		2.499	2.499	2.492	2.497
Gravedad Especifica S.S.S.		2.567	2.562	2.560	2.563
Gravedad Especifica Aparente		2.682	2.668	2.673	2.674
Absorción (%)		2.731	2.528	2.718	2.659
$\frac{A}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica Seca Bulk	Densidad Seca (Kg/m ³) =		2497.00
$\frac{B}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica S.S.S.	Densidad S.S.S. (Kg/m ³) =		2563.00
$\frac{A}{(A - C)}$	=	Gravedad Especifica Aparente	Densidad Aparente (Kg/m ³) =		2674.00
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$	=	Absorción (%)	Absorción (%) =		2.65

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M_2	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M_3	$\frac{(M_3/M_2)*100}{0}$	$IL * R_i$
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	0	0	0		
1"	3/4"	0	0	30.00		
3/4"	1/2"	3765	63.9	828.8	22.00	1406.5
1/2"	3/8"	1662	28.2	375.3	22.6	636.9
3/8"	1/4"	465.6	7.9	68.4	14.7	116.1
Suma		5892.6	100.00			21.59

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/4"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Peso del molde 6285 grs. Suelto ✓
Diámetro del molde 15.21 cm Varillado
Altura del molde 11.65 cm Golpeado
Volumen del molde 2116.77 cm³

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	9170	6285	2885	2116.77	1.3629
2	9152	6285	2867	2116.77	1.3544
3	9174	6285	2889	2116.77	1.3648
				Promedio	1.3607 gr/cm ³
					1360.7 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.497	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	1000.00	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1360.7	Kg/m ³
% Vacíos = 45.50					

ANEXO F

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso 3/8" de la pedrera de Suchitoto

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 27, ASTM C 136.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/8"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Peso inicial sin lavar: 2260.0 Material fino
0 G por lavado 34.00 g

Peso inicial lavado: 2226.0
0 G

MALLA	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION ASTM D - 448	
		PARCIAL	ACUMULADO		AGREGADO No. 89	
	Min.	Máx.				
1 1/2 "	0.00	0.0	0.0	100		
1"	0.00	0.0	0.0	100		
3/4"	0.00	0.0	0.0	100		
1/2"	0.00	0.0	0.0	100	100	100
3/8"	223.00	10.19	10.19	89.81	85	100
No. 4	1817.00	83.01	93.19	6.81	10	30
No. 8	69.80	3.19	96.38	3.62	0	10
No. 16	9.00	0.41	96.79	3.21	0	5
No. 30	6.30	0.29	97.08	2.92		
No. 50	11.00	0.50	97.58	2.42		
No. 100	13.50	0.62	98.20	1.8		
No. 200	4.10	0.19	98.39	1.61		
Pasa la No. 200	1.30	1.61	100.00	0.00		
Σ	2189.00	100				

Gráfica de Granulometría.

Curva Granulométrica agregado de 3/8" de Cantera de Suchitoto.

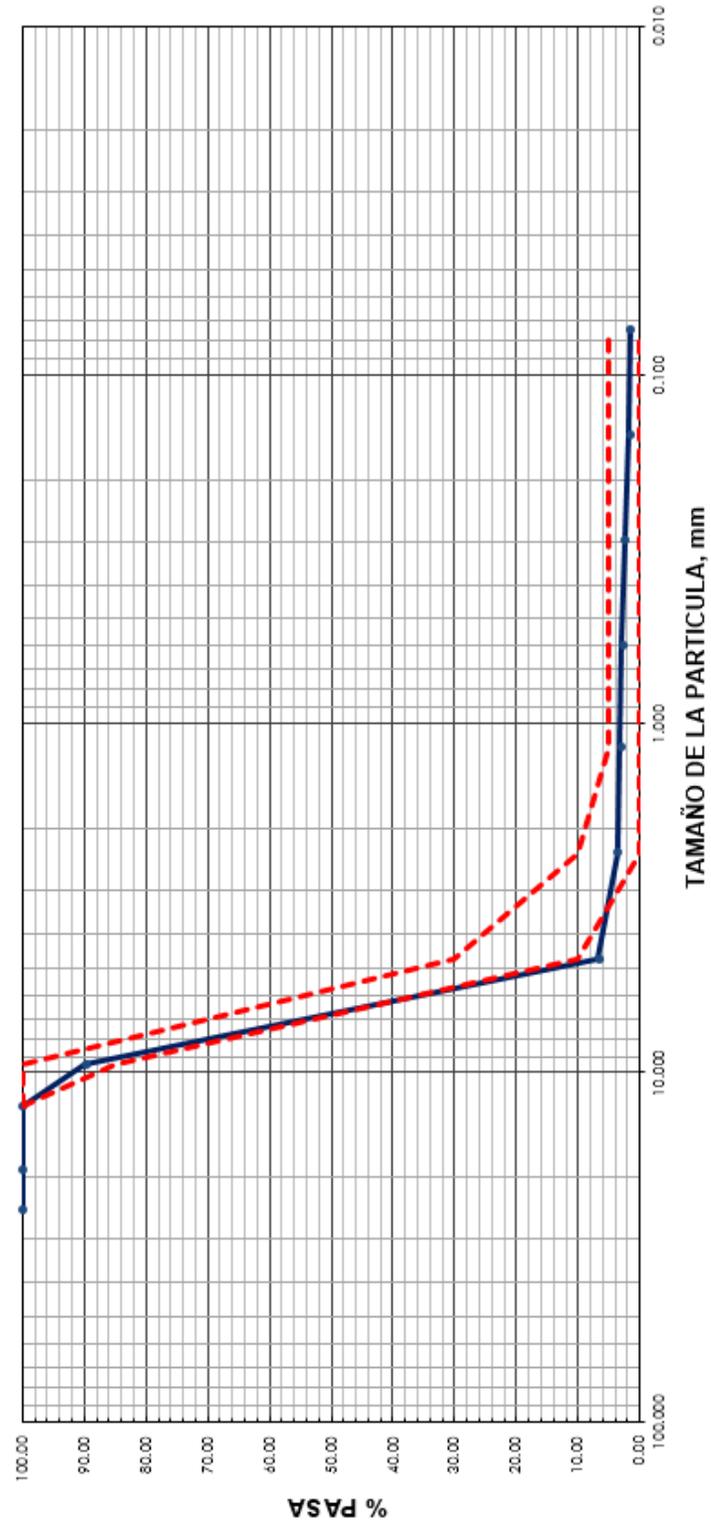


Tabla 2. Gravedad específica, densidad y absorción.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA, DENSIDAD
Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
AASHTO T - 85, ASTM C 127.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/8"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Temperatura del ensayo:	23 ° C	Densidad del agua a la T° de ensayo (kg/m ³)	997.50		
Muestra No.		1	2	3	
Masa de agregado secada al horno, grs (A)		965.00	963.20	962.70	
Masa de agregado S.S.S, grs (B)		999.40	996.30	998.90	
Masa aparente del agregado sumergido, grs (C)		597.50	594.70	594.70	Promedios
Gravedad Especifica Seca Bulk		2.401	2.398	2.382	2.394
Gravedad Especifica S.S.S.		2.487	2.481	2.471	2.480
Gravedad Especifica Aparente		2.626	2.614	2.616	2.619
Absorción (%)		3.565	3.436	3.760	3.587
$\frac{A}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica Seca Bulk	Densidad Seca (Kg/m ³) =		2394
$\frac{B}{(B - C)}$	=	Gravedad Especifica S.S.S.	Densidad S.S.S. (Kg/m ³) =		2480
$\frac{A}{(A - C)}$	=	Gravedad Especifica Aparente	Densidad Aparente (Kg/m ³) =		2619
$\frac{100 \times (B - A)}{A}$	=	Absorción (%)	Absorción (%) =		3.59

Tabla 3. Partículas planas y alargadas

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
DEL AGREGADO GRUESO
Basado en Norma BS – 812.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Material: 3/8”
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO. Laboratorista:
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO. Fecha de recibido:
Fecha de ensayo:

MALLA (pulg)		Masa retenida parcial (3)	% retenido parcial (4)	Índice de Laja		
PASA (1)	RETENID O (2)			Masa Pasante (5)	IL parcial (%) (6)	IL total (7)
		M ₂	$R_i = \frac{M_2}{M_1} * 100$	M ₃	$\frac{(M_3/M_2) * 10}{0}$	IL * R _i
2 1/2"	2"	0	0	0		
2"	1 1/2"	0	0	0		
1 1/2"	1"	0	0	0		
1"	3/4"	0	0	0		
3/4"	1/2"	0	0	0		
1/2"	3/8"	0	0	0	0	0
3/8"	1/4"	804.9	100.0	182.3	22.6	2264.9
Suma		804.9	100.0			22.65

Tabla 4. Peso volumétrico y vacíos en el agregado grueso

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO ASFALCA.



ENSAYO PESO VOLUMETRICO Y VACIOS
EN EL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29.

Proyecto: Trabajo de Graduación. Laboratorista: J.H, K.R,
W.T
Procedencia: CANTERA SUCHITOTO Material: 3/8"
Ubicación: CARRETERA A SUCHITOTO Fecha de ensayo:

Peso del molde 6285 grs. Suelto ✓
Diámetro del molde 15.21 cm Varillado
Altura del molde 11.65 cm Golpeado
Volumen del molde 2116.77 cm³

Ensayo No.	Peso muestra + molde (gr)	Peso del Molde	Peso neto (gr)	Volumen	Peso volumétrico (gr/cm ³)
1	8967.00	6285.00	2682.00	2116.77	1.2670
2	8977.00	6285.00	2692.00	2116.77	1.2717
3	8966.00	6285.00	2681.00	2116.77	1.2666
				Promedio	1.2684 gr/cm ³
					1268.4 Kg/m ³

Calculo de Porcentaje de Vacío

$$\% \text{ Vacios} = (100) \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127	=	S	=	2.394	
Densidad del agua a 23 °C	=	W	=	1000.00	Kg/m ³
Peso volumétrico suelto	=	M	=	1268.4	Kg/m ³
% Vacíos = 47.01					