

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PRESENTES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD – NVO. CHIMBOTE – 2015”

PRESENTADO POR:

- Bach. OTINIANO ARRIBASPLATA, Miguel Angel.
- Bach. PARIÁ CABALLERO, Maricarmen.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

ING. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César.

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ
2016**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PRESENTES EN
LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES
ASFÁLTICAS CATIONICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD
– NVO. CHIMBOTE – 2015

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

Tesistas:

Bach. Ing. Miguel Angel Otiniano Arribasplata.
Bach. Ing. Maricarmen Paria Caballero.

Asesorado por:

Ing. Julio Cesar Rivasplata Díaz
Asesor de Tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PRESENTES EN
LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES
ASFÁLTICAS CATIONICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD
– NVO. CHIMBOTE – 2015

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Tesistas:

Bach. Ing. Miguel Angel Otiniano Arribasplata.

Bach. Ing. Maricarmen Paria Caballero.

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Felipe Villavicencio González

Presidente del Jurado

Ing. Julio Cesar Rivasplata Díaz

Secretario del Jurado

Ing. Lino Olascuaga Cruzado

Integrante del Jurado



AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar reconocimiento a las personas que nos ayudaron a lo largo de todo este proceso académico.

A la Universidad Nacional Del Santa: que nos dio la oportunidad de ser parte de ella, por educarnos como profesionales.

A nuestro asesor Ing. Julio Rivasplata Díaz, por aportar sus ideas y profesionalismo al desarrollo de esta tesis de graduación.

A nuestros amigos: Ing. Edilberto Tello Cabrera y la Ing. María Vergara por su aporte Técnico – Profesional.

Miguel Ángel Otiniano Arribasplata & Maricarmen Paria Caballero



DEDICATORIA

A DIOS, quien guía mi vida y me dio la oportunidad de realizar la presente investigación, así como la fuerza y la valentía para aguantar esas noches de desvelo.

A MIS PADRES: Isaac Paria Duran y Yohni Caballero Sánchez por brindarme su amor y apoyo incondicional durante toda esta travesía.

A MIS HERMANOS: Milagros, Pedro y José, por infundirme aliento durante todo este tiempo.

A MI MÁS GRANDE TESORO, por ser la bendición más grande que Dios me ha regalado, Isabella Daniela quien se ha convertido en la razón de mi ser y me impulsa a ser mejor cada día.

Maricarmen Paria Caballero.



DEDICATORIA

A DIOS, por haberme brindando la oportunidad de cursar esta maravillosa vida, donde cada día es un nuevo descubrimiento.

A MIS PADRES, por ser el principal motor que impulsaron esta carrera, por brindarme todo el apoyo y cariño del mundo.

A MIS HERMANOS, por acompañarme siempre y ser mis mejores amigos.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE AULA, porque esta no ha sido una carrera completamente en solitario, se crearon lazos únicos de amistad y camaradería que nunca se olvidarán.

Miguel Angel Otiniano Arribasplata



RESUMEN

En la presente investigación, se analizó las propiedades físico-mecánicas en muestras de mezcla asfáltica en frío, las cuales se elaboraron con emulsión asfáltica en frío, comparando los resultados con los parámetros mínimos establecidos por la normativa vigente dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de carreteras (EG-2013); dándose también un análisis comparativo de precios unitarios entre la alternativa estudiada de mezcla asfáltica en frío con emulsión catiónica y una muestra convencional de mezcla asfáltica en caliente, siendo la más extendida en uso actualmente; con el fin de reforzar nuestra propuesta de conveniencia en la aplicación de carpetas asfálticas en frío con fines de pavimentación.



ABSTRACT

In the following investigation, physic-mecanic properties in asphaltic mix samples were analyzed in cold, which were elaborated with cold asphaltic emulsion, comparing the results with the minimum parameters established by the regulations in force given by the Ministry of Transport and Communications in the Roads Manual: General Technical Specifications for Roads construction (EG-2013); making, also, a comparative analysis of unitary prices between the studied alternative of cold asphaltic mix with cationic emulsion and conventional samples of hot asphaltic mix, which is the most used today; all this, with the purpose of reinforcing our proposal of convenience in the aplicacion of cold asphaltic carpet in paving.



INTRODUCCIÓN

En el campo de Tecnología de Materiales, la continua investigación y descubrimiento de nuevos materiales permite ampliar la variedad de alternativas durante los procesos constructivos, así como disminuir costos y acelerar la puesta en funcionamiento de las obras.

Durante los últimos años, la creciente preocupación del impacto de los procesos constructivos en el ecosistema donde se realizan; debido a la crisis medioambiental reinante a nivel mundial, los investigadores se han visto en la obligación de encontrar y formular nuevos materiales cuyo impacto en el medioambiente sea mínimo, sin dejar de lado la versatilidad y los costos que su producción implica.

Dentro de la tecnología de materiales aplicados en las obras de pavimentación, una gama de materiales cuya reglamentación ha sido promulgado hace algunos años, son las mezclas asfálticas en frío, y su uso ha sido relegado a carreteras de bajo nivel de tránsito o a pavimentaciones urbanas con un volumen vehicular bajo.

El presente trabajo ha sido desarrollado con el fin de sembrar un precedente en la investigación de las propiedades de las mezclas asfálticas en frío para su utilización en proyectos de pavimentación, ya que actualmente se utiliza principalmente mezclas asfálticas en caliente, las cuales requieren gran movilización de maquinaria e incluso la puesta en obra de plantas pavimentadoras, generan contaminación y mayor gasto por el tiempo empleado para la fabricación de la mezcla, así como por el tiempo que tiene la mezcla en caliente para ser puesta en obra. La utilización de mezclas asfálticas en frío asegura un mayor tiempo para la puesta en obra, así como mayor facilidad para realizar el mezclado y evitar la emisión de gases contaminantes; para lo cual se ha generado un diseño de mezcla con agregados de la localidad, sometiendo la mezcla a los ensayos requeridos por la normatividad vigente y analizando los resultados con los estándares establecidos.



INDICE

AGRADECIMIENTOS	1
DEDICATORIA.....	2
DEDICATORIA.....	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
INDICE	7
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	15
1.1 CONTENIDO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION	15
1.1.1 TITULO.....	15
1.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	15
1.1.3 UBICACIÓN	15
1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN	16
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2.2 OBJETIVOS	17
2.1.1.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
1.3 HIPÓTESIS	18
1.4 VARIABLES.....	18
1.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	18
1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE	18
1.5 TIPO DE DISEÑO	18
1.6 ESTRATEGIA DE ESTUDIO	18
1.6.1 MÉTODO DE ESTUDIO.....	18



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
1. MARCO TEORICO	20
2.2 BASE TEORICA	20
2.2.1 CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS EN NUESTRO PAIS	
20	
2.2.1.1 CLASIFICACION POR DEMANDA.....	20
2.2.1.1.1 AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE.....	20
2.2.1.1.2 AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE	20
2.2.1.1.3 CARRETERAS DE PRIMERA CLASE	21
2.2.1.1.4 CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE.....	22
2.2.1.1.5 CARRETERAS DE TERCERA CLASE	22
2.2.1.1.6 TROCHAS CARROZABLES	23
2.2.2 PAVIMENTOS.....	23
2.2.2.1 CONCEPTO DE PAVIMENTOS	23
2.2.2.1.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos	24
2.2.2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles	24
2.2.2.1.3 Pavimentos Rígidos.....	25
2.2.2.2 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS:.....	26
2.2.2.2.1 SUBRASANTE	26
2.2.2.2.2 SUBBASE GRANULAR	27
2.2.2.2.3 BASE.....	29
2.2.2.2.3.1 BASE GRANULAR.....	30
2.2.2.2.3.2 BASE ESTABILIZADA.....	30
2.2.2.2.4 SUPERFICIE DE RODADURA	31
2.2.3 CAPAS ASFÁLTICAS	32
2.2.3.1 Hormigón asfáltico.	32
2.2.3.2 Mezcla asfáltica en frío	33



2.2.3.3	Mezcla asfáltica en caliente	34
2.2.3.4	Riegos asfálticos	34
2.2.3.5	Tratamientos superficiales	35
2.2.3.6	Sellos asfálticos	35
2.2.3.7	Lechada Asfáltica (Slurry Seal)	35
2.2.3.8	Microaglomerados (Microsurfacing)	36
2.2.4	BLOQUES DE CONCRETO	36
2.2.4.1	Adoquines	36
2.2.5	EMULSIONES ASFALTICAS	37
2.2.5.1	CONCEPTO DE EMULSION ASFÁLTICA	37
2.2.5.1.1	Emulsión Directa	38
2.2.5.1.2	Emulsión Inversa	38
2.2.5.2	ESTRUCTURA QUÍMICA	39
2.2.5.3	COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA	42
2.2.5.3.1	CEMENTO ASFÁLTICO	42
2.2.5.3.1.1	Proveniencia del Asfalto	42
2.2.5.3.1.2	Tipos de Asfaltos	44
2.2.5.3.1.3	PRUEBAS A QUE DEBE SER SOMETIDO UN ASFALTO. 47	
2.2.5.3.1.3.1	Ensayos para medir consistencia	48
2.2.5.3.1.3.2	Ensayos de durabilidad	49
2.2.5.3.1.3.3	Ensayos de pureza	49
2.2.5.3.1.3.4	Ensayos de seguridad	50
2.2.5.3.1.3.5	Otros ensayos	50
2.2.5.3.2	SOLUCIÓN JABONOSA	50
2.2.5.3.2.1	AGUA	50
2.2.5.3.2.2	AGENTE EMULSIFICANTE	51



2.2.5.4	VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	54
2.2.5.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN.....	55
2.2.5.5.1	Equipo Emulsificador:.....	55
2.2.5.5.2	Proceso de Emulsificación:	57
2.2.5.6	ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN.....	61
2.2.5.6.1	ROTURA.....	61
2.2.5.6.2	CURADO.....	63
2.2.5.7	FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO.	64
2.2.5.8	PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	66
2.2.5.8.1	Propiedades intrínsecas	66
2.2.5.8.1.1	Viscosidad.....	66
2.2.5.8.1.2	Adhesividad.....	68
2.2.5.8.1.3	Cohesividad.....	69
2.2.5.8.2	Propiedades Mecánicas que condicionan el comportamiento de las emulsiones	70
2.2.5.8.2.1	Estabilidad en el almacenamiento.....	71
2.2.5.8.2.2	Espumas	71
2.2.5.8.2.3	Natas.....	71
2.2.5.8.2.4	Sedimentos	72
2.2.5.8.2.5	Mezcla entre emulsiones.....	72
2.2.5.8.2.6	Aditivos.....	73
2.2.5.8.2.7	Temperatura.....	73
2.2.5.8.2.8	Estabilidad de la emulsión ante los agregados	74
2.2.5.8.2.9	Características del residuo asfáltico.....	74



2.2.5.9	CONTROL DEL CALIDAD	74
2.2.5.9.1	Control de Calidad en la Fabricación	75
a.	Determinación del Potencial de Hidrógeno, ASTM D244.	75
b.	Residuo por Destilación según designación ASTM D244-92 ...	76
c.	Residuo por Evaporación ASTM D244.....	77
d.	Residuo por Evaporación modificado ASTM D244.....	77
e.	Asentamiento o Sedimentación ASTM D244-29/32.	78
f.	Sedimentación en 24 horas. ASTM D244	79
g.	Sedimentación en caso de nuevas formulaciones.....	79
h.	ASTM D 244-38/41	80
i.	Carga eléctrica. ASTM D-244.	80
2.2.5.9.2	Control de calidad en la aplicación	81
a.	Viscosidad SAYBOLT-FUROL. ASTM D244-D88.	81
b.	Miscibilidad de las emulsiones con Cemento Portland ASTM D 244	82
c.	Miscibilidad con agua ASTM D 244.....	82
d.	Ensayos de cubrimiento	83
e.	Ensayo de rompimiento.....	84
2.2.5.10	USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	85
2.2.5.10.1	USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.	86
2.2.5.11	SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR96	
2.2.5.11.1	Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid-Setting).....	97
2.2.5.11.2	Emulsiones de Rotura Media (Medium-Setting)	97
2.2.5.11.3	Emulsiones de Rotura Lenta.	98



2.2.5.11.4 Emulsiones de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerados.....	100
2.2.5.12 TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS	
100	
2.2.5.13 USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	102
2.2.5.14 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO.	103
2.2.5.15 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO.....	107
2.2.5.15.1 Estabilidad.....	107
2.2.5.15.2 Durabilidad.....	110
2.2.5.15.3 Impermeabilidad.....	112
2.2.5.15.4 Trabajabilidad.....	113
2.2.5.15.5 Flexibilidad.....	116
2.2.5.15.6 Resistencia a la Fatiga.....	116
2.2.5.15.7 Resistencia al Deslizamiento.....	118
2.2.5.16 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS.....	119
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	123
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO.....	123
3.1.1 Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (MTC E 105 – 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93).....	125
3.1.2 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).-.....	125
3.1.3 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).....	128
3.1.4 Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo, (MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216).....	137



3.1.5 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)	137
3.1.6 Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59).....	137
3.1.7 Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall, (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86)	138
3.1.8 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000)	138
3.1.9 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).....	139
3.1.10 Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo, (MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216).....	139
3.1.11 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)	139
3.1.12 Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59).....	146
3.1.13 Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall, (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86)	149
4.1.1 OBJETIVO.....	149
4.1.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN.....	150
4.1.3 FABRICACIÓN DE BRIQUETAS.-	150
4.1.4 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS	157
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	161
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	161



4.2.1 Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107- 2000, ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).-.....	161
4.2.2 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).-	163
4.2.3 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535).-.....	164
4.3 DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.	165
4.4. Análisis comparativo de precios unitarios entre la elaboración de carpeta asfáltica en frío con emulsión asfáltica CSS-1h y carpeta asfáltica en caliente convencional (e= 2”).....	167
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
5.1 CONCLUSIONES.....	168
5.2 RECOMENDACIONES.....	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172
Anexos	



CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 CONTENIDO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

1.1.1 TITULO

“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PRESENTES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD – NVO. CHIMBOTE – 2015”

1.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según aplicabilidad : Aplicativo – Experimental.

1.1.3 UBICACIÓN

INSTITUCIÓN

Laboratorio de asfalto de CAH Contratistas Generales S.A.

Distrito : Callao

Provincia : Callao

Departamento : Lima

DIRECCIÓN

Urb. Grimanesa, Calle 4, Mz. C, Lote D – Callao



1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la creciente demanda del parque automotor en el país, aproximadamente existen en el país más de dos millones y medio de vehículos según cifras del INEI, se genera, no solo una mayor contaminación del aire y sonora, sino también contaminación en el suelo y en el agua, esto debido a la inexistencia de un plan nacional de reciclaje y defensa del medio ambiente.

Con respecto al impacto ambiental que se produce se puede mencionar los altos consumos energéticos que demanda el diseño de mezclas asfálticas en caliente, grandes cantidades de combustible utilizados en el calentamiento de los agregados y del asfalto.

Hoy en día los productos asfálticos han tenido un gran desarrollo y se cuenta con nuevas emulsiones asfálticas, producto del desarrollo obtenido de la realización de distintas pruebas en los diferentes materiales que conforman un asfalto.

Las características de estas nuevas emulsiones permiten el empleo de casi todos los tipos de materiales pétreos, cualquiera que sea su composición química y su empleo para trabajar en distintas condiciones atmosféricas.

Asimismo, el aumento de vehículos implica un mayor índice de tráfico por lo que es necesario diseñar carpetas asfálticas con mejores características y que resulten económicas para equilibrar la rentabilidad con los costos de producción, siendo así nos formulamos la pregunta.



¿Cuáles características físico-mecánicas son las presentes en una mezcla asfáltica en frío utilizando emulsiones asfálticas cationicas en su composición y cuál será la diferencia económica implique su uso en la aplicación de proyectos de pavimentación?

1.2.2 OBJETIVOS

2.1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar cuáles son las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en frío elaborada con emulsión asfáltica cationica que cumplen los requisitos necesarios de acuerdo a la normativa en el diseño de carreteras para utilización en proyectos de pavimentación.

2.1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar, mediante ensayos de laboratorio, las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío elaborado con emulsión asfáltica cationica.
- ✓ Analizar la factibilidad del uso de las mezclas asfálticas en frío con emulsión cationica en proyectos de pavimentación.
- ✓ Identificar las características de los materiales empleados en la elaboración de mezcla asfáltica en frío con emulsión cationica en Nuevo Chimbote.

1.3 HIPÓTESIS

“Utilizando emulsiones asfálticas catiónicas para la elaboración de mezclas asfálticas en frío se obtendrán una estabilidad suficiente y adecuada para poderse utilizar mezcla asfáltica en frío con emulsión catiónica en proyectos de pavimentación de carreteras”

1.4 VARIABLES

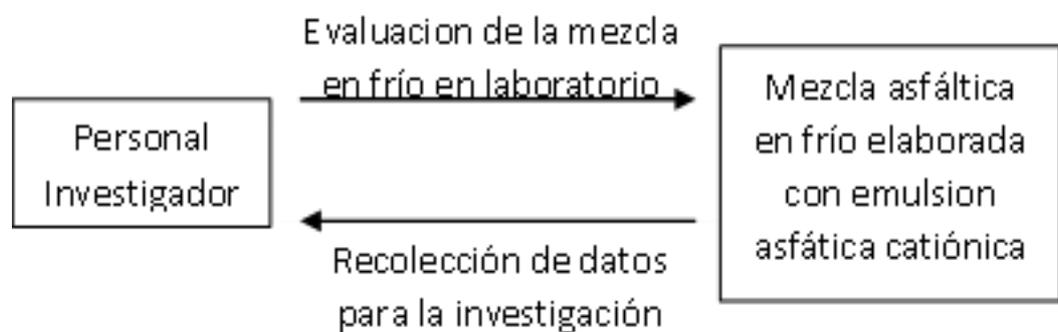
1.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío.

1.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Mezcla asfáltica en frío elaborada con emulsión asfáltica catiónica y agregados pétreos de la localidad.

1.5 TIPO DE DISEÑO



1.6 ESTRATEGIA DE ESTUDIO

1.6.1 MÉTODO DE ESTUDIO

- El estudio se realizó de acuerdo a etapas, debido a la distancia que existe entre los laboratorios y el lugar de la elaboración del informe de investigación.



- Las muestras fueron elaboradas en los laboratorios de la empresa CAH Contratistas Generales S.A. llevando los agregados pétreos con anterioridad a la ciudad de Lima.
- Utilizando diversas dosificaciones de emulsión asfáltica, y a través de ensayos Marshall, se llegó a un resultado óptimo con los cuales se obtendrán los datos a analizar.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEORICO

2.2 BASE TEORICA

2.2.1 CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS EN NUESTRO PAIS

2.2.1.1 CLASIFICACION POR DEMANDA

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

2.2.1.1.1 AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

2.2.1.1.2 AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE

Son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador



central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

2.2.1.1.3 CARRETERAS DE PRIMERA CLASE

Son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, de con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.



2.2.1.1.4 CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE

Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

2.2.1.1.5 CARRETERAS DE TERCERA CLASE

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones



geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

2.2.1.1.6 TROCHAS CARROZABLES

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

2.2.2 PAVIMENTOS

2.2.2.1 CONCEPTO DE PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas de materiales de mejoramiento y colocadas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales adecuados y compactados.

Los Pavimentos que se usan generalmente en nuestro país se los puede clasificar de la siguiente manera:



2.2.2.1.1 Pavimentos Flexibles o Asfálticos

Este tipo de pavimentos está constituido por una capa de rodadura formada por material bituminoso o asfáltico, apoyado en la mayoría de los casos sobre dos capas de materiales no rígidos conocidos como base y sub-base, sin ser obligatoria la presencia de una de estas capas, justificándose la presencia de las mismas por características de los materiales que constituyen el pavimento.

2.2.2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles

Estos pavimentos tienen la misma estructura de los pavimentos asfálticos, con la diferencia que las capas que los conforman se encuentran rigidizadas de manera artificial, mediante la presencia de aditivos que en su mayoría de casos puede ser: asfalto, emulsión asfáltica, cementos, cal, enzimas y químicos.

El empleo de estos aditivos se justifica al corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales o cercanos a la obra, que no son aptos directamente para la su uso como capas, que conforman la estructura del pavimento, teniendo en cuenta que los materiales más indicados con mejor calidad pueden encontrarse a grandes distancias, que encarecerían notablemente los costos de construcción.



2.2.2.1.3 Pavimentos Rígidos

Son los que están constituidos principalmente por una losa de concreto y apoyados sobre materiales seleccionados o en otros casos sobre la sub-rasante.

Debido a la alta rigidez que presenta el hormigón, así como el elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se realiza sobre una amplia zona.

El hormigón también es capaz de resistir, en cierto nivel, los esfuerzos a tensión, por esta propiedad tiene un comportamiento muy aceptable cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas, por lo tanto la capacidad que ejercen las otras capas de pavimento tienen menor influencia en el diseño del espesor del pavimento.

La figura 1-1 Indica la diferencia de comportamiento entre los pavimentos Flexibles y Rígidos en presencia de una carga.

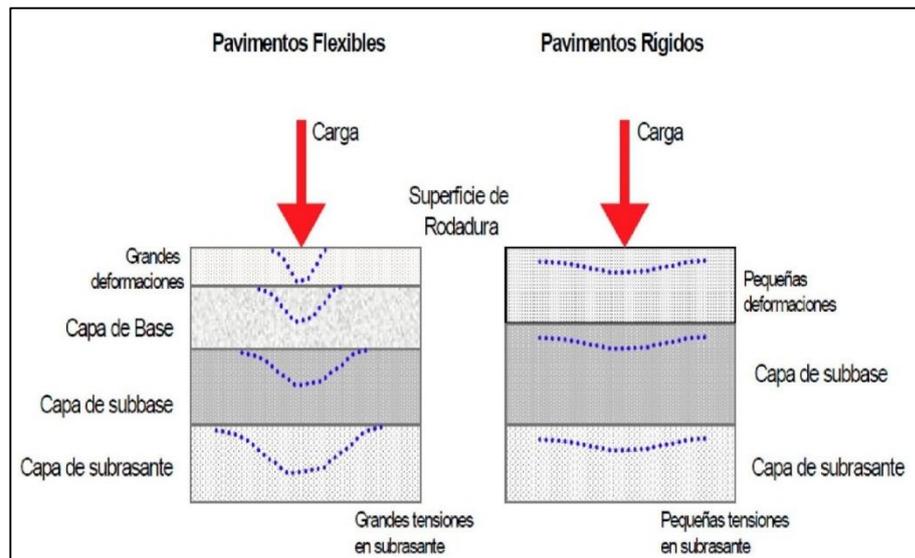


Figura 2-1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Fuente: ITURBIDE, J. (2002)

2.2.2.2 ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS:

El pavimento de manera general está compuesto por una serie de capas de la siguiente manera:

- Subrasante
- Subbase
- Base
- Superficie de rodadura

Las siguientes definiciones están basadas en el Manual Centro Americano para Diseño de Pavimentos (ITURBIDE, 2002).

2.2.2.2.1 SUBRASANTE

Es la capa de terreno de una vía que resiste la estructura del pavimento, ocupa hasta una profundidad



que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Esta capa puede estar creada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes detalladas en los planos finales de diseño.

El grosor de pavimento está muy relacionado con la calidad de la subrasante, se busca que esta capa supere los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El diseño de un pavimento de forma básica es el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

2.2.2.2 SUBBASE GRANULAR

Es la capa de la estructura del pavimento que tiene por funciones: soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la subrasante.

La Subbase debe soportar las variaciones que pueden afectar al suelo, controla los cambios de elasticidad y volumen que pueden dañar el pavimento.

Esta capa se utiliza también como capa de drenaje y para el control de ascensión capilar de agua,



cuidando la estructura de pavimento, por lo que ordinariamente se usan materiales granulares. La presencia de capilaridad en esta capa produce hinchamientos por acción del congelamiento del agua en temperaturas bajas, si no se dispone de una subrasante y Subbase adecuada se producirán fallas en el pavimento.

Esta capa de material actúa como material de transición entre la subrasante y la capa de base. Según la tabla 402-01 se presenta los requerimientos granulométricos para subbase granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. ($\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 μ m. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 μ m. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241

Tabla 2-1 Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

- (1) La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.



Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-.-	-.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-.-	D 4791	-.-	20% máx.	20% máx.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1”(2.5 mm)
(2) La relación ha emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Tabla 2-2 Subbase Granular Requerimientos de Ensayos Especiales

2.2.2.2.3 BASE

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub base y la capa de rodadura que tiene como funciones: la distribución y transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores del pavimento como: la Sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa que sirve de soporte a la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

- Base granular
- Base Estabilizada



2.2.2.2.3.1 BASE GRANULAR

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la sub-base y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada, grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, en su estado natural.

Los materiales que forman esta capa deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento.

Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades dependerán de la relación entre la cantidad de finos y de agregado grueso.

2.2.2.2.3.2 BASE ESTABILIZADA

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la subbase y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, esta mezcla se combina con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada.



Fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Subbase.

Los materiales estabilizadores más utilizados son: asfalto, enzimas, emulsiones asfálticas, cemento y cal.

2.2.2.2.4 SUPERFICIE DE RODADURA

Es la capa que conforma la estructura del pavimento más externa, se coloca sobre la base.

La función principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para el ingreso del agua lluvia por filtración que puede saturar las capas inferiores.

La capa de rodadura evita el deterioro de las capas inferiores a causa del tránsito de vehículos.

La capa de rodadura aumenta la capacidad soporte del pavimento, por que absorbe cargas, este aumento es apreciable para espesores mayores a 4 centímetros, en el caso de riegos superficiales se considera el aumento nulo.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la siguiente figura:

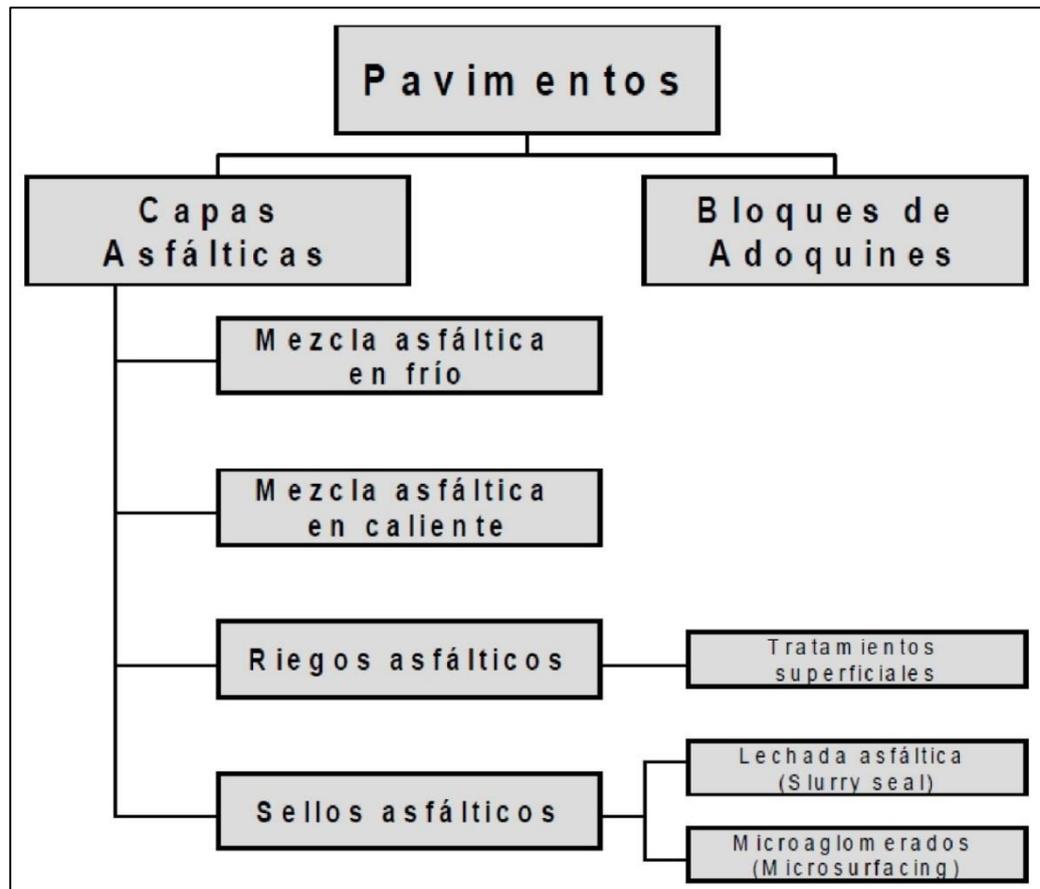


Figura N° 2-2 Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles

Fuente: ITURBIDE, J. (2002)

2.2.3 CAPAS ASFÁLTICAS

2.2.3.1 Hormigón asfáltico.

Se denomina a hormigón asfáltico, concreto bituminoso u hormigón bituminoso, a la mezcla de agregados de asfalto y mezcla de materiales minerales, estos últimos materiales minerales se encuentran en diferentes tamaños; esta mezcla se extiende en capas y se compacta.



Este material es el más común utilizado en la construcción de vial.

La mezcla de los materiales que componen el hormigón asfáltico puede ser hecha en caliente o en frío.

Presentan buenas propiedades impermeabilizantes por este motivo también es utilizado en los núcleos de presas como impermeabilizante.

La definición de ingeniería de hormigón incluye cualquier material compuesto por un agregado cementado con un aglutinante, que puede ser cemento Portland o asfalto.

2.2.3.2 Mezcla asfáltica en frío

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la combinación de agregados pétreos con asfaltos rebajados o aglomerantes bituminosos, un ejemplo de estos aglomerantes son las emulsiones asfálticas. Los materiales pétreos deben cumplir con los requisitos especificados, estos materiales serán mezclados con procedimientos controlados sin la necesidad de un calentamiento previo, la finalidad de estos procedimientos es garantizar como resultado un nuevo material con características definidas.



2.2.3.3 Mezcla asfáltica en caliente

Se denomina mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos especificados, los materiales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

2.2.3.4 Riegos asfálticos

Son riegos sucesivos alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados buscándose conseguir un material compactado lográndose un mayor densidad por motivo de una mejor acomodación.

El uso de los riegos asfálticos presenta una serie de ventajas como: brindar a la superficie las condiciones de impermeabilidad, aumenta la resistencia al desgaste y mejora la suavidad para el rodaje.

Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje.

Se clasifican en tratamientos superficiales simples, dobles y triples.



2.2.3.5 Tratamientos superficiales

Los Tratamientos Superficiales se basan en la aplicación de material asfáltico sobre una superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

2.2.3.6 Sellos asfálticos

Consiste en impermeabilizar una superficie asfáltica ya existente mediante el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, se consigue eso mediante el llenado de vacíos y de grietas, El uso de sellos asfáltico evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: La lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing).

2.2.3.7 Lechada Asfáltica (Slurry Seal)

Consiste en una mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos, que proporcionan una mezcla homogénea, que se aplica sobre un pavimento, como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarlo; proporcionando una textura resistente, antideslizante y



adherida firmemente a la superficie.

2.2.3.8 Microaglomerados (Microsurfacing)

El Microsurfacing consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales, rellenos, agua y otros aditivos que son tendidos sobre una superficie pavimentada.

El uso de Microsurfacing presenta las siguientes ventajas: Evita la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y; mejora la resistencia contra el deslizamiento, aumentando su durabilidad.

2.2.4 BLOQUES DE CONCRETO

2.2.4.1 Adoquines

Los adoquines o bloques son elementos contruidos con material pétreo y cemento, pueden tener varias formas, prefiriéndose las formas regulares.

Los adoquines son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función de absorber las irregularidades de la base.

La cama de arena proporciona a los adoquines un acomodamiento adecuado, ofrece una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para

drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

2.2.5 EMULSIONES ASFÁLTICAS

En el presente capítulo se ha tomado como referencia los conceptos del Manual Básico de Emulsiones MS 19 (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

2.2.5.1 CONCEPTO DE EMULSION ASFÁLTICA

Desde el punto de vista físico – químico, de una manera muy general una emulsión es una dispersión de un líquido en otro este último debe ser inmisible.

Por dicho anteriormente una emulsión asfáltica es una dispersión de micro partículas de cemento asfáltico en una matriz acuosa estabilizada.

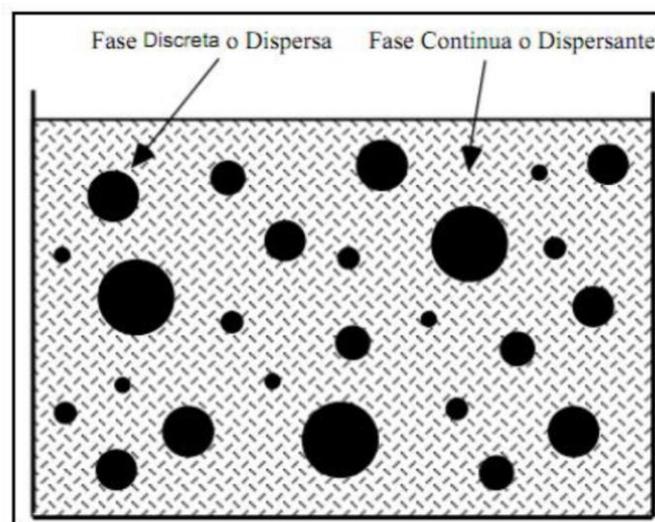


Figura 2-3 Diagrama Esquemático de una Emulsión (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)



Existen dos tipos de emulsiones según la fase dispersa y dispersante, de la siguiente manera:

2.2.5.1.1 Emulsión Directa

Una emulsión es directa cuando la fase dispersa es hidrocarbonada y la fase dispersante es agua.

2.2.5.1.2 Emulsión Inversa

Una emulsión es inversa cuando la fase dispersa es acuosa y la fase dispersante un asfalto de petróleo.

Las emulsiones tienen tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. El agente emulsificante puede contener un estabilizador.

La finalidad de fabricar emulsiones es conseguir una dispersión de cemento asfáltico en el agua, esta emulsión debe ser estable para facilitar su manipulación en actividades de bombeo, almacenamiento prolongado y mezclado.

Las emulsiones deben garantizar su rompimiento después del contacto con agregados al momento de la mezcla o después de un riego sobre una superficie.



Después del rompimiento de la emulsión asfáltica, sufrirá su curado, aquí quedará solamente el asfalto residual, este asfalto mantiene las características de adhesividad, durabilidad y resistencia al agua del cemento asfáltico puro empleado para la fabricación de la emulsión.

2.2.5.2 ESTRUCTURA QUÍMICA

Por el tipo de emulsificante las emulsiones se clasifican en tres grupos:

- ✓ Aniónica
- ✓ Cationicas
- ✓ No iónicas

En la construcción y mantenimiento vial se utilizan las dos primeras, la última puede ser utilizada a futuro.

Las clases Aniónica y Cationica se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto.

La identificación se deriva del sistema de leyes básicas de electricidad - cargas, cargas de igual signo se repelen y de diferente signo se atraen. Cuando se carga dos polos cátodo y ánodo (positivo y negativo), se sumergen en un líquido a través del cual se pasa una corriente eléctrica, el



ánodo se carga de forma positiva y el cátodo de forma negativa. Si se pasa una corriente a través de la emulsión que contiene partículas de asfalto negativamente cargadas estas migran al ánodo. La emulsión en este caso se llama aniónica. En caso inverso serán emulsiones catiónicas. Las emulsiones no iónicas tienen partículas de asfalto neutras y no migran a ningún polo.

Las emulsiones puede clasificarse según la velocidad de rotura, que es la velocidad que la emulsión vuelve a ser cemento asfáltico.

Por facilidad se utilizan letras de la velocidad en idioma inglés, los términos que significan Rotura rápida RS (Rapid Setting), Rotura Media MS (Medium Setting) y Rotura lenta SS (Slow Setting).

La rotura es una propiedad propia de cada emulsión que puede facilitar el mezclado. Una emulsión RS tiene mínima o carece de habilidad para mezclarse con un agregado, una emulsión MS se espera que se mezcle con agregados gruesos pero no finos y una emulsión SS permite la mezcla con agregados finos.

Las emulsiones se subdividen adicionalmente mediante la incorporación de números que indican la viscosidad y la



dureza de los cementos asfálticos utilizados como bases.

Se incorpora la letra “C” anterior al tipo de emulsión que significa que esta emulsión es catiónica, la ausencia significa que es aniónica o no iónica.

Las normas ASTM adicionan tres grados de emulsión aniónica de alta flotación y rotura media, se denomina HFMS. Estos grados tienen su uso en mezclas en planta frías y calientes, riegos de sellado de agregados gruesos y mezclas en vía. Las emulsiones de alta flotación tienen una cualidad especial la formación de películas de cubrimiento más gruesas sin riesgos de escurrimiento. Para condiciones especiales se desarrolló un tipo de emulsión de rotura veloz QS (Quick Setting) para las lechadas asfálticas, el uso de estas va en crecimiento por dar solución a los problemas relacionados con el uso de lechadas.

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS - 1 (RR - 1)	CRS - 1 (CRR - 1)
RS - 2	CRS - 2
HFRS - 2	----
MS - 1 (RM - 1)	----
MS - 2	CMS - 2 (CRM - 2)
MS - 2h	CMS - 2h
HFMS - 1	----
HFMS - 2	----
HFMS - 2h	----
HFMS - 2s	----
SS - 1 (RL - 1)	CSS - 1 (CRL - 1)
SS - 1h	CSS - 1h

Tabla 2-3 Clasificación de las emulsiones asfálticas.



2.2.5.3 COMPOSICIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las emulsiones asfálticas tienen los siguientes componentes básicos:

- ✓ Cemento Asfáltico
- ✓ Solución Jabonosa

A su vez la solución jabonosa está compuesta por:

- ✓ Agua
- ✓ Agente emulsificante.

2.2.5.3.1 CEMENTO ASFÁLTICO

2.2.5.3.1.1 Proveniencia del Asfalto

El asfalto es el elemento básico en la preparación de la emulsión, representado por el cemento asfáltico, el cual constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión. Algunas de sus propiedades afectan significativamente la emulsión final, sin embargo, no existe una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto pueda ser emulsionado.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase



continua y la dispersa (BRACHO, 2005). El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos.

Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos.

Los maltenos y asfaltenos existen flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

ASFALTENOS	MALTENOS
Compuestos Polares Hidrocarburos Aromáticos Peso molecular mayor 1.000 Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)	Compuestos No polares Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos Peso molecular hasta 1.000 Medio continuo

Tabla 2-4 Cuadro comparativo entre los componentes del asfalto

Fuente: BRACHO; 2005



Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, a veces casi en su totalidad. Sin embargo, existen algunos crudos, que no contienen asfalto.

En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- ✓ Petróleos crudos de base asfáltica.
- ✓ Petróleos crudos de base parafínica.

2.2.5.3.1.2 Tipos de Asfaltos

Los asfaltos de pavimentación se obtienen por reducción directa y progresiva de los residuos derivados de la destilación de los petróleos crudos, o por precipitación de los asfaltenos mediante solvente especiales. Estos asfaltos se utilizan en la pavimentación de carreteras y en pistas de aterrizaje de aeropuertos. Las características de los asfaltos obtenidos por destilación al vacío y por



precipitación o extracción con solventes son aproximadamente las mismas.

Los asfaltos de impermeabilización, o asfaltos oxidados se producen al hacer burbujear aire a través del asfalto calentado entre 200 y 300 °C.

Los asfaltos diluidos son aquellos que se obtienen por dilución, en línea, de los asfaltos de penetración en caliente con un solvente adecuado.

La mezcla con solventes evita el calentamiento excesivo que debe proporcionarse a un asfalto de pavimentación para proporcionar la fluidez necesaria en las operaciones de cubrimiento. Por este motivo, se suelen diferenciar las operaciones de asfalto en caliente de las de asfalto en frío (cuando se utilizan asfalto diluidos o rebajados).

A los asfaltos diluidos se les clasifica de acuerdo al tipo de solvente que se utilice en su preparación.



De esta manera se tienen:

- ✓ Los asfaltos de fraguado rápido RC (rapid curing), en los que se utiliza nafta como solvente,
- ✓ Los de fraguado medio MC (medium curing), donde se emplea kerosene,
- ✓ Los de fraguado lento SS (slow curing), con base diesel oíl como solvente.

Los asfaltos de fraguado rápido se utilizan cuando se requieren periodos muy cortos de fraguado.

Los de fraguado medio tienen aplicación en las operaciones donde se requiere un cubrimiento más completo del agregado y una mayor penetración en las hendiduras o porosidades del material pétreo.

Los asfaltos de fraguado lento tienen pocas aplicaciones, normalmente su uso se ha restringido al logro de capas antipolvo y estabilización de arenas.

En la elaboración de emulsiones se utiliza asfaltos con rango de penetración 100 a 200. Debido a los problemas de contaminación y de costos inherentes no se justifica el uso de asfaltos rebajados en la elaboración de emulsiones asfálticas. La siguiente figura representa los diferentes tipos de asfaltos que se obtienen luego del proceso de destilación del crudo.

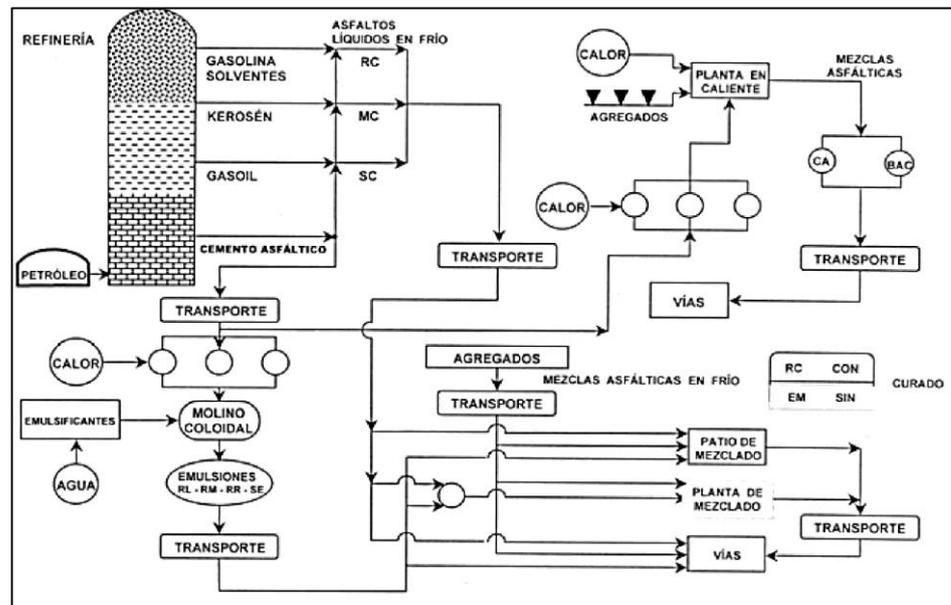


Figura 2-4 Tipos de asfaltos derivados de la destilación de crudo (BRACHO, 2005)

2.2.5.3.1.3 PRUEBAS A QUE DEBE SER SOMETIDO UN ASFALTO.

Antes de ser utilizado, el asfalto debe ser sometido a una serie de pruebas que permiten determinar algunas propiedades que



debe cumplir para un uso particular. Los diferentes ensayos se agrupan en cinco categorías:

2.2.5.3.1.3.1 Ensayos para medir consistencia

La consistencia se define como el grado de fluidez que tiene un asfalto a una determinada temperatura. El asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura. Si se quiere realizar comparaciones entre ellos, es necesario medir su consistencia a una misma temperatura de condición de carga. Los ensayos más utilizados para medir la consistencia de los cementos asfálticos son los siguientes:

- ✓ Viscosidad absoluta a 140 °F (60 °C) ASTM D-2171
- ✓ Viscosidad cinemática a 275 °F (135 °C) ASTM D-2171
- ✓ Viscosidad Saybolt Furol ASTM E102-93(2003)
- ✓ Penetración a 25 °C ASTM D-5



2.2.5.3.1.3.2 Ensayos de durabilidad

Los cementos asfálticos sufren un mayor o menor grado de envejecimiento cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente. El envejecimiento continúa durante toda la vida del pavimento por la acción del medio ambiente y otros factores.

Los siguientes ensayos son utilizados para medir de manera más o menos aproximada el envejecimiento de un cemento asfáltico.

- ✓ Película delgada (TFO) ASTM D-1754
- ✓ Rolling Thin Film Oven (RTFO) o Película fina rotativa ASTM D-2872.

2.2.5.3.1.3.3 Ensayos de pureza

Los cementos asfálticos están constituidos por bitumen puro, el cual por definición es completamente soluble en disulfuro de carbono. Sólo un porcentaje muy pequeño de impurezas está presente en el cemento asfáltico obtenido de refinería. Para determinar el grado de impureza del cemento asfáltico se utiliza el siguiente ensayo:

- ✓ Solubilidad ASTM D-2042



2.2.5.3.1.3.4 Ensayos de seguridad

Si el cemento asfáltico es calentado a temperaturas altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar. Por lo tanto se hace necesario realizar los siguientes ensayos:

- ✓ Punto de inflamación o Flash Point.
- ✓ Método de la copa Cleveland. ASTM D-92

2.2.5.3.1.3.5 Otros ensayos

- ✓ Peso específico Ensayo de ductilidad
- ✓ Ensayo de la mancha

2.2.5.3.2 SOLUCIÓN JABONOSA

2.2.5.3.2.1 AGUA

El segundo componente en porcentaje de la emulsión es el agua, corresponde al 98 por ciento de la solución jabonosa. Entre los principales aportes del agua a la emulsión se tiene, el humedecimiento, la disolución y adherencia a otras sustancias; facilita las reacciones químicas.



El agua puede contener en su estructura otras sustancias que afecten la estabilidad de la emulsión en su fabricación.

Es muy recomendable el control del tipo de agua utilizado, para evitar el uso de agua inadecuada por impurezas, en solución y suspensión. Se debe tener especial cuidado con la presencia de iones de calcio y magnesio que afectan las propiedades de la emulsión.

Agua con presencia de materias extrañas no deben ser utilizadas en la producción de emulsiones porque originan desbalances en componentes de la emulsión que afectan el comportamiento de la emulsión y pueden producir rotura prematura.

En la fabricación de emulsiones se garantizara la pureza del agua, evitando sustancias que perjudiquen sus propiedades.

2.2.5.3.2.2 AGENTE EMULSIFICANTE

Este componente representa una cantidad muy pequeña en la emulsión pero tiene



gran influencia porque depende de este producto químico conocido como “Surfactante” que determina si la emulsión se clasifica como aniónica, catiónica o no iónica. El emulsificante mantiene en suspensión a las partículas del asfalto y controla la rotura oportuna. El surfactante controla la tensión superficial entre el área de contacto entre las partículas de asfalto y el agua. Existen gran variedad de agentes emulsificantes su selección se la realiza en basada en la compatibilidad con el cemento asfáltico utilizado.

En las primeras emulsiones asfálticas se utilizó como agente emulsificante materiales como sangre de buey, arcillas y jabones, el incremento de la necesidad de emulsiones genero la investigación de materiales nuevos más eficientes, en la actualidad son sustancias químicas vendidas comercialmente.

La mayoría de emulsificantes catiónicos (cargados positivamente) están compuestos por aminas grasas, que se las convierte en jabón con la incorporación de

ácidos como el ácido clorhídrico. Otro agente emulsificante catiónico se forma con sales cuaternarias de amonio, disueltas en agua sin necesidad de agregar ácidos.

Los fabricantes de emulsiones tienen sus propios procedimientos para incorporar los agentes a la emulsión, una forma de agregar es combinar el agente con el agua antes de mezclar con el asfalto en el molino coloidal, otros pueden combinar el agente con asfalto.

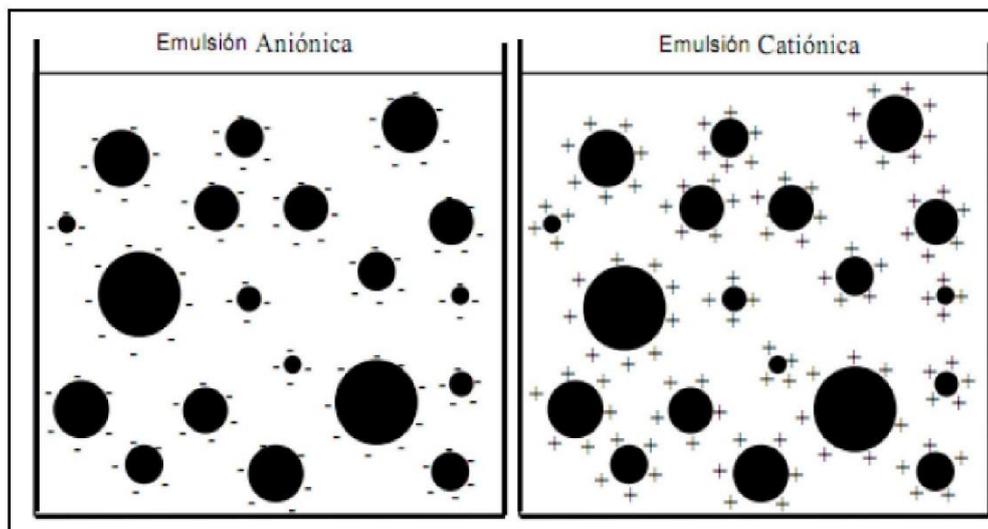


Figura 2-5 Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)



2.2.5.4 VARIABLES QUE AFECTAN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las emulsiones tienen muchos factores que afectan sus características en las diferentes etapas de fabricación, almacenamiento, uso y comportamiento. Todos los factores tienen igual importancia en la afectación de la emulsión. Entre las variables tenemos las siguientes:

- ✓ Propiedades químicas de la base de cemento asfáltico.
- ✓ Dureza y cantidad del cemento asfáltico de base
- ✓ Tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión.
- ✓ Tipo y concentración del agente emulsivo.
- ✓ Condiciones de elaboración tales como temperatura, presión, y esfuerzo para separar las partículas de asfalto (afectan al molino coloidal)
- ✓ Carga iónica en las partículas de emulsión.
- ✓ Orden en que se agregan los elementos.
- ✓ Tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión.
- ✓ Propiedades del agente emulsivo.
- ✓ Adición de modificadores químicos o de polímeros.
- ✓ Calidad del agua (dureza del agua)



Muchos de los factores expuestos variaran según la disponibilidad de tecnología, materias primas y de los procesos constructivos. Para la combinación entre agregados y asfalto, la calidad del asfalto la dará el proveedor de la emulsión.

2.2.5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN

2.2.5.5.1 Equipo Emulsificador:

El equipo común utilizado en la fabricación de emulsiones debe constar de un dispositivo mecánico de alta velocidad y altamente cortante, en términos generales se utiliza un molino coloidal que se encarga de dividir el asfalto en partículas minúsculas denominadas glóbulos.

Además se utiliza un tanque de solución emulsificante, un tanque para calentar el asfalto, bombas y medidores de flujo. El molino coloidal consta de un rotor de alta velocidad que se encarga de girar a velocidades de 1000 a 6000 revoluciones por minuto (17 – 100 HZ), tiene la facultad de regular las partículas a tamaños de 0.01 a 0.02 pulgadas (0.25 a 0.50 mm).

Esta regulación permite la producción de emulsiones con glóbulos de asfalto con diámetros menores

al diámetro de un cabello humano porque tienen dimensiones de 0.001 a 0.005 pulgadas (0.025 a 0.125 mm). Los tamaños de los glóbulos de asfalto dependen del equipo utilizado y que permita cambiar las tolerancias de tamaños.

La medición del asfalto y la solución emulsificante en el molino coloidal se realiza por medio de bombas separadoras construidas con materiales resistentes a la corrosión que es una característica de la solución emulsificante.

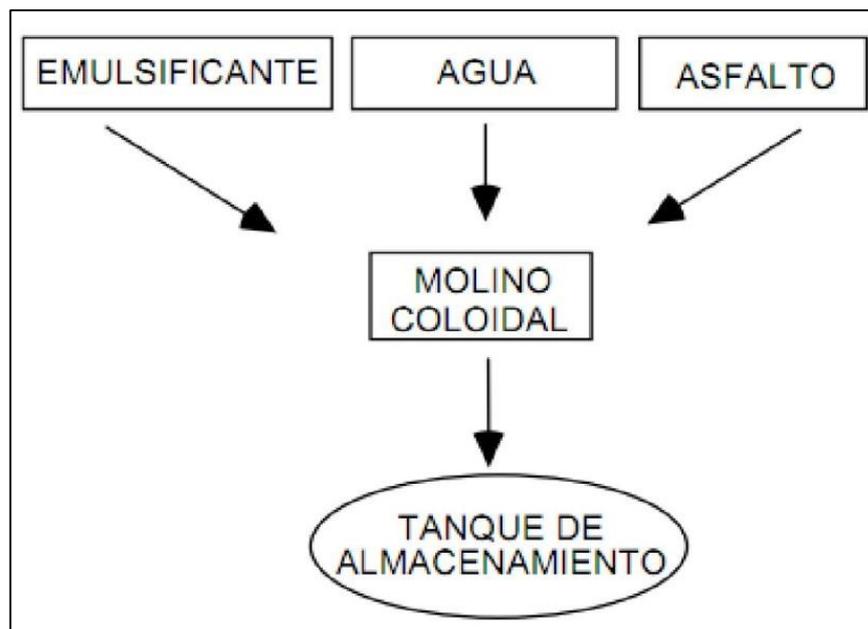


Figura 2-6 Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas. (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)



2.2.5.5.2 Proceso de Emulsificación:

El método más utilizado para la producción de emulsiones consiste en enviar flujos de cemento asfáltico fundido y agua tratada en dirección de la entrada del molino coloidal utilizando bombas que desplacen estos materiales.

El asfalto y el agente emulsificante son expuestos a grandes esfuerzo de corte en el paso por el interior del molino coloidal. El resultado es una emulsión que puede moverse utilizando bombas a través de un intercambiador térmico.

El aumento de calor busca la finalidad de aumentar la temperatura del agua emulsificante antes de la entrada del molino coloidal. La emulsión es bombeada desde el intercambiador de calor a tanques de almacenamiento en bruto. Estos tanques pueden contener dispositivos agitadores en su interior con el fin de garantizar un mezclado uniforme.

El cemento asfáltico que es principal componente de la emulsión es calentado para ingresar al molino coloidal, aquí reduce el tamaño para formar los glóbulos.



En el mismo instante, se agrega el agua que contiene el agente emulsificante. El objetivo del calentamiento del asfalto es conseguir una baja viscosidad, se ajusta la temperatura del agua a la temperatura del asfalto.

La variación de la temperatura es el resultado de las características del cemento asfáltico y la compatibilidad entre el asfalto y agente emulsificante.

En ningún caso se utilizan temperaturas extremas para la fabricación de la emulsión en el molino, las temperaturas deben estar bajo el punto de ebullición del agua.

Cada fabricante de emulsión elige la técnica que adición de emulsificante al agua relacionada con procedimiento de fabricación.

Los emulsificantes como las aminas consiguen su solubilidad con el agua, al mezclarlos y reaccionar con ácidos como el clorhídrico. Otros emulsificante como los ácidos grasos consiguen su solubilidad mezclándolos y reaccionado con álcalis, como el hidróxido de sodio, la forma de mezclado es realizando con un mezclador por lotes. El emulsificante se introduce en agua caliente que



contiene ácido álcali, y se agita hasta su completa disolución.

La forma expuesta anteriormente explica como el asfalto y la solución asfáltica se dosifica de manera precisa. Otro aspecto importante que se puede observar es la temperatura de cada fase y la descarga del molino mediante medidores. Esto permite una forma de dosificación por temperatura que calcula la temperatura de salida de la emulsión terminada relacionando con las temperaturas de ingreso de los diferentes ingredientes de la emulsión.

Un factor muy importante en la fabricación de emulsiones estables es el tamaño de las partículas de asfalto.

Un análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión revela los siguientes datos:

Tamaño	Porcentaje
Menores que 0,001 mm (1	28%
0,001 - 0,005 mm (1-5 μ m)	57%
0,005 - 0,010 mm (5-10 μ	15 %

Tabla 2-5 Análisis microscópico de tamaños de promedio de partículas de una emulsión

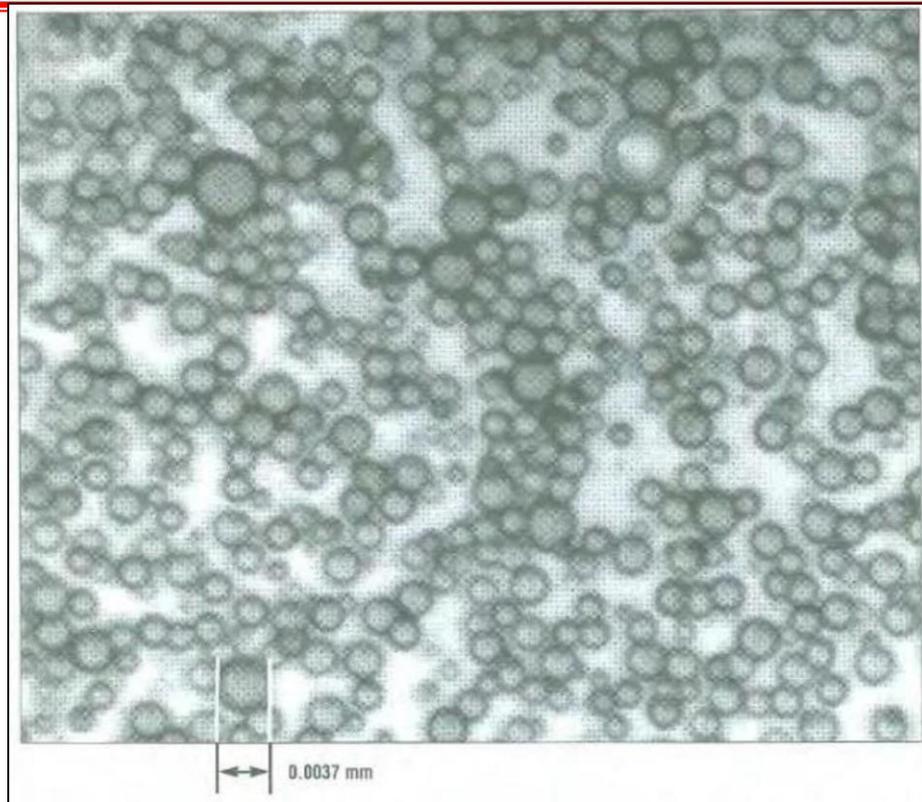


Figura 2-7 Microfotografía que demuestra los tamaños y distribución de las partículas de Asfalto (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Las partículas finas en forma de asfalto con tamaño microscópico se esparcen en el agua por la presencia del emulsivo (surfactante). El surfactante produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, permitiendo así que el asfalto permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto, todas con similares cargas eléctricas, se repelen entre sí, lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.



2.2.5.6 ROTURA Y CURADO DE UNA EMULSIÓN

2.2.5.6.1 ROTURA.

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante con propiedades cementantes e impermeabilizantes, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001).

Para tratamientos superficiales y sellos, se formulan las emulsiones para romper una vez entren en unión con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie de un pavimento. Los glóbulos de asfalto entran en coalescencia¹ y producen una membrana continua de asfalto sobre el agregado o pavimento. Para mezclas densas, se requiere más tiempo para admitir el mezclado y fraguado. En resultado, las emulsiones utilizadas para mezclas se sugieren para rotura retardada. La coalescencia del asfalto se conoce como rotura o fraguado. La velocidad a la cual los glóbulos de asfalto se separan de la fase acuosa se identifica como tiempo de rotura o fraguado. Por ejemplo, una emulsión de rotura rápida romperá entre uno a cinco minutos después de ser aplicada, mientras que una emulsión de rotura media o lenta puede tomar un tiempo mayor.



La velocidad de rotura depende de factores como: el tipo específico y concentración del agente emulsificante empleado en la emulsión, así como por las condiciones atmosféricas.

La tasa de absorción de los diferentes tipos de agregados favorece la succión de líquidos, afectando la rotura porque está vinculada con las características de absorción del agregado usado. Los agregados con altas tasas de absorción tienden a acelerar la rotura de la emulsión por motivo de una remoción más rápida del agua emulsionante.

La velocidad de rotura en agregados que constituyen mezclas formadas por emulsión y agregado, la gradación y área superficial del agregado son también factores significativos. Al cambiar el área superficial, las características de rotura del medio también cambian debido a la alteración de la absorción (acumulación en la superficie) del agente emulsificante por el agregado. Con miras a obtener óptimos resultados, es necesario controlar el tamaño del agregado o ajustar la formulación de la emulsión para cumplir los requisitos del agregado.



2.2.5.6.2 CURADO

Para usos en pavimentación, tanto las emulsiones aniónica como las catiónicas dependen de la evaporación del agua para el desarrollo de sus características de curado y adherencia. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo entornos favorables del clima; pero, pueden interferir con un curado apropiado una alta humedad, baja temperatura o lluvia, poco tiempo después de la aplicación. A pesar de que las condiciones superficiales y atmosféricas son menos críticas para las emulsiones catiónicas que para las aniónicas, aún dependen de las condiciones climáticas para lograr óptimos resultados.

Una de las principales ventajas del uso de emulsiones catiónicas, es la propiedad de dejar el agua un poco más.

La teoría tradicional propone que las emulsiones aniónicas por tener carga negativas en los glóbulos de asfalto tienen un mejor comportamiento cuando se los combina con agregados en que mayoritariamente tengan cargas positivas en su superficie como las calizas. La teoría también sostiene que las emulsiones catiónicas por tener las cargas positivas sobre los glóbulos de asfalto,



dan como resultado un comportamiento mejor con agregados que tiene cargas negativas en superficie como agregados silíceos o graníticos. No existe un acuerdo sobre esto porque existen estudios recientes que contradicen las teorías tradicionales.

Cuando se usan emulsiones de rotura rápida tanto aniónicas como cationicas, la sedimentación inicial del asfalto se desarrolla en función de fenómenos electromecánicos.

La generación de la principal unión resistente entre la película de asfalto y los agregados, viene después de la pérdida del agua emulsificante. Esta película de agua puede ser desplazada por evaporación, presión (envolvimiento), o por absorción. En el uso real, la rotura es generalmente una función de la combinación de estos tres factores.

2.2.5.7 FACTORES QUE AFECTAN LA ROTURA Y EL CURADO.

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

a. Absorción de agua.- Un agregado de textura áspera,



poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.

b. Contenido de humedad de los agregados.- los agregados húmedos facilitan el recubrimiento, pero hacen más lento el proceso de curado al aumentar el tiempo necesario para la evaporación.

c. Condiciones climáticas.- La temperatura, la humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Las altas temperaturas pueden originar la formación de “piel” en tratamientos superficiales (chips seals) atrapando el agua y retardando el curado.

Fuerzas mecánicas.- La presión de los rodillos y en poca cantidad el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y mejoran la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.

d. Superficie específica.- Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.

e. Química de superficies.- Las intensidades de la carga de la superficie del agregado y la intensidad de la carga del agente emulsivo, pueden influir intensamente en la velocidad de rotura.



f. Temperatura de la emulsión y el agregado.- La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y el agregado son bajas.

g. Tipo y cantidad de emulsivo.- El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los grados de emulsiones para sellados y para mezclas.

2.2.5.8 PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas poseen dos tipos de propiedades; las intrínsecas, aquellas propiedades internas naturales de la emulsión y son las mismas que presentan cualquier ligante asfáltico: viscosidad, adhesividad y cohesividad; y las propiedades mecánicas que condicionan su comportamiento como ligante en la construcción de pavimentos.

2.2.5.8.1 Propiedades intrínsecas

2.2.5.8.1.1 Viscosidad

Viscosidad es la resistencia que desarrolla un líquido al oponerse al movimiento de las partículas que lo conforman o se encuentran en su interior. Esta propiedad resulta de gran interés e importancia al momento de



definir una emulsión adecuada para cada tratamiento. Cuando la emulsión es de baja viscosidad se puede utilizar para hacer riegos de imprimación y en gran parte para estabilizaciones de suelo, mientras que si es de alta viscosidad, será empleada en tratamientos superficiales y en mezclas abiertas, donde se debe garantizar que el material o agregado mineral sea provisto de una película de ligante suficientemente alta en su superficie. La viscosidad es medida en Segundos Saybolt Furol (SFS), según especificaciones y normas norteamericanas A.S.T.M. y A.A.S.H.T.O.

En una emulsión asfáltica la viscosidad es dependiente de ciertos factores tales como: la temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad), el tamaño y granulometría de los glóbulos de asfalto (siendo más viscosa las emulsiones en que las partículas son de tamaño uniforme, a diferencia de las que poseen tamaños bien gradados); dureza del cemento asfáltico de origen (cementos más duros dan como resultados emulsiones menos viscosas que las procedentes de cementos asfálticos más blandos); características del molino utilizando en la dispersión del asfalto en agua; contenido del cemento asfáltico (entre porcentajes de 65% y 70% la viscosidad crece muy rápidamente); naturaleza y cantidad



de emulsificante en la emulsión; contenido de fluidificantes en el asfalto base (al agregarle una pequeña cantidad de fluidificantes en asfaltos duros permite disminuir la viscosidad en la emulsión).

2.2.5.8.1.2 Adhesividad

La adhesividad que presenta una emulsión asfáltica frente a un agregado o la capacidad de envolver al mismo y mantenerse, está ligada a una serie de elementos relacionados con la naturaleza y características del agregado; y de la emulsión utilizada, como consecuencia esta propiedad es muy compleja de ser estimada.

Los factores relacionados con la emulsión que pueda influenciar en la adhesividad alcanzada entre el agregado y la emulsión son: la naturaleza y cantidad del emulsificante en la emulsión, tipo de asfalto de base utilizado y pH de la emulsión (valores de pH próximos a 7 proporcionan mejores adhesividades pero menores estabilidades de la emulsión, mientras que valores alejados de 7 proporcionan emulsiones más estables pero adhesividades menores).



Las emulsiones catiónicas poseen mayor y mejor capacidad de adherencia que las emulsiones aniónicas frente a la gran mayoría de los agregados minerales. En las primeras prevalece la reacción físico-química en contacto con la mayor parte de los agregados, aún con los de mayor predominio calcáreo, variando en todo caso la velocidad del proceso de un agregado a otro; será más rápido para un árido silíceo que para uno calcáreo. En las emulsiones aniónicas el proceso principal consiste en la evaporación del agua, por lo tanto son más dependientes de las condiciones atmosféricas, exhiben una rotura de notable lentitud y baja adherencia. Las emulsiones presentan una muy buena adhesividad activa (al momento de mezclarse con el agregado), consecuencia lógica de su fluidez y facilidad de mojar los agregados, al mismo tiempo que una buena adhesividad pasiva (capacidad de mantener la unión asfalto - agregado, sin peligro de desplazamiento del ligante, incluso en presencia de agua y tráfico) principalmente en las emulsiones catiónicas, por la presencia de compuesto tensoactivos en su formulación.

2.2.5.8.1.3 Cohesividad

La cohesividad en emulsiones asfálticas es la fuerza aglutinante propia de la mezcla para



pavimentación. Una definición explica el concepto de la cohesividad: “Es la resistencia a la rotura en masa de un ligante. En el caso de las emulsiones es inicialmente baja, pero va aumentando a medida que se va eliminando el agua, de modo que al cabo de un tiempo más o menos breve llega a alcanzar la del asfalto base”.

Al colocar la emulsión en contacto con los agregados pétreos se comienza a separar la fase dispersada de su medio continuo; el agua se evapora y se acercan los glóbulos de asfalto cuando vencen la fuerza de rechazo electrostática existente inicialmente entre ellos por la presencia del emulsificante, produciendo un verdadero cemento entre la película residual de asfalto y el agregado, dando como resultado aumento de cohesión, que es muy similar a la del asfalto base.

2.2.5.8.2 Propiedades Mecánicas que condicionan el comportamiento de las emulsiones

Al mismo tiempo de las características químicas que deben cumplir las emulsiones asfálticas, existen un segundo grupo de características mecánicas que condicionan su comportamiento y ofrecen una manera de clasificación; las cuales son las siguientes:



2.2.5.8.2.1 Estabilidad en el almacenamiento

Finalizada la fabricación de una emulsión esta debe conservar sus propiedades y características de formulación. Esta estabilidad se asegura por la repulsión electrostática de los glóbulos de asfalto y está íntimamente ligada con el pH de la fase acuosa y con la finura de la dispersión (tamaño de los glóbulos). Se controlará las siguientes precauciones para evitar el cambio de las propiedades originales.

2.2.5.8.2.2 Espumas

Para evitar la formación de espumas en emulsiones asfálticas donde el emulsificante es capaz de formarlas, se recomienda no agitar violentamente ni verterla en cascada. Por lo tanto el llenado de depósitos debe hacerse prolongando la tubería hasta unos 20 cm del fondo del tanque. El transporte debe hacerse en cisternas con rompeolas que dividan su interior.

2.2.5.8.2.3 Natas

La nata es una película endurecida que se forma en la superficie en contacto con el aire, protegiendo el resto de la emulsión. Para mantenerla es aconsejable el almacenamiento en depósitos cilíndricos, de eje vertical alimentados desde el fondo, ya que si se rompe trae consecuencias negativas en el flujo de la emulsión



asfáltica al formarse grumos indeseables que obstruyen las bombas de alimentación y los difusores de riego.

2.2.5.8.2.4 Sedimentos

Los sedimentos aparecen cuando los glóbulos de asfalto descienden hasta al fondo y se depositan aumentando la viscosidad en las zonas inferiores del depósito, siendo reversible mientras no se produzca la rotura de la emulsión. Para contrarrestar este fenómeno se recomienda: Utilizar agentes estabilizantes, aumentar la concentración del emulsificante o lograr una mayor finura de dispersión.

2.2.5.8.2.5 Mezcla entre emulsiones

No se debe mezclar emulsiones aniónicas con cationicas, ya que tienden a coagular (romper) por una reacción electroquímica. Si se trata de diluir las emulsiones, deberá tenerse en cuenta que el agua de dilución sea básica para la aniónica o ácida para las cationicas. Es muy importante la limpieza de los tanques de almacenamiento cuando han contenido emulsiones de distinto tipo.



2.2.5.8.2.6 Aditivos

El uso de aditivos se justifica cuando las emulsiones no han reaccionado con un determinado árido, pero deber hacerse con cautela y conocimiento de los aditivos utilizados (naturaleza y propiedades), ya que estos procedimientos pueden traer consecuencias negativas, al provocar la rotura prematura de la emulsión por la incompatibilidad del activante con el emulsificante.

2.2.5.8.2.7 Temperatura

Con temperaturas entre 10 °C y 85 °C se considera que las emulsiones asfálticas son estables y mantienen todas sus propiedades. Temperaturas menores de 10 °C endurecen excesivamente las emulsiones, aumentando la viscosidad del asfalto residual y por ende su densidad, favoreciendo la sedimentación.

Un aumento de la temperatura incrementa la energía cinética de las moléculas del emulsificante, por lo que fácilmente abandonan los glóbulos de asfalto, disminuyendo la estabilidad de la emulsión. Además de producirse la evaporación del agua se forman natas en la superficie del líquido, las cuales obstruyen las bombas y los difusores de riego.



2.2.5.8.2.8 Estabilidad de la emulsión ante los agregados

La estabilidad de la emulsión ante los agregados está relacionada con la forma de rotura al entrar en contacto con los materiales pétreos con los que se mezcla, depende tanto del tipo de emulsión como del tipo de agregado. La emulsión más estable son llamadas de rotura lenta y se caracterizan por poderse mezclar con un filler sin romper. Para definir esta propiedad, se utiliza el ensayo de mezclas con cemento para emulsiones aniónicas y mezclas con un filler-silíceo en las cationicas.

2.2.5.8.2.9 Características del residuo asfáltico

Las características y propiedades del cemento asfáltico condicionan el comportamiento de las emulsiones asfálticas como ligante en la construcción de pavimentos. La viscosidad, la presencia de fluidificantes (en exceso retrasa la cohesión final) y la dureza del asfalto residual pueden considerarse como las de mayor importancia.

2.2.5.9 CONTROL DEL CALIDAD

Las características propias de cada emulsión están dadas



por el tipo de asfalto utilizado y el método de fabricación empleado, por este motivo el fabricante debe garantizar su producto, sin embargo se describe los principales ensayos que se realizan en las emulsiones asfálticas.

Las emulsiones asfálticas se elaboran en caliente, pues el asfalto para llevarlo a una forma fluida necesita altas temperaturas, algunas emulsiones son almacenadas en caliente, y algunas son transportadas y aplicadas en caliente. Las muestras en caliente recogidas en campo son a menudo enviadas al laboratorio a temperatura ambiente. Las muestras de emulsiones asfálticas con requisitos de viscosidad a 50°C deben ser calentadas hasta alcanzar una temperatura de 50 ± 3 °C en un baño de agua a 70°C o en una estufa. Las muestras deben ser removidas, no agitadas, para asegurar homogeneidad.

2.2.5.9.1 Control de Calidad en la Fabricación

a. Determinación del Potencial de Hidrógeno, ASTM D244.

El pH es una medida del grado de acidez y alcalinidad de la sustancia analizada; su valor oscila entre 0 y 14. Las sustancias ácidas poseen un pH menor de 7 y las bases o alcalinas un pH



mayor de 7, siendo neutras para un valor igual a 7.

Una misma emulsión se comporta de forma diferente según tenga un pH de 4,5 ó de 2,0. La primera tendrá una buena adhesividad, pero su rompimiento será muy rápido; la segunda tendrá una adhesividad dentro de los límites aceptables pero su rompimiento será mucho más lento.

b. Residuo por Destilación según designación ASTM D244-92

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.

Se puede realizar ensayos con el residuo asfáltico de la emulsión, por ejemplo: penetración, ductilidad, punto de inflamación y punto de ablandamiento.

El objetivo es determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión.



El residuo de la emulsión puede utilizarse para efectuar las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono, además de determinar el grado en que ha sido rebajado el cemento asfáltico, si es el caso.

c. Residuo por Evaporación ASTM D244

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje (%), por medio de evaporación rápida.

Según estadísticas, se dice que el residuo así obtenido da resultados de penetración y ductilidad inferiores a los que se logran en el residuo por destilación.

Por su fácil ejecución y rapidez en la misma, es el más utilizado para conocer la concentración de la emulsión y realizar cálculos de dosificación en campo.

d. Residuo por Evaporación modificado ASTM D244

Este ensayo permite controlar la producción



de un molino que produce más de 20 toneladas por hora, siendo necesario conocer inmediatamente los rangos del residuo.

e. Asentamiento o Sedimentación ASTM D244-29/32.

La prueba de sedimentación o asentamiento, nos indica el grado de estabilidad que tienen las emulsiones durante su almacenamiento. Detecta la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse durante el almacenamiento. También sirve como indicador de la calidad de la emulsión.

La prueba tiene una duración de cinco días, siendo necesario en obras de gran movilidad realizarla la prueba de estabilidad de almacenamiento, que tiene una duración de 24 horas.

Cuando la densidad del asfalto es ligeramente menor que la del agua, debido a solventes adicionales, por diferencia de densidades los glóbulos de asfalto tienden a flotar, presentándose en algunos casos una



migración de los mismos hacia la superficie del líquido.

f. Sedimentación en 24 horas. ASTM D244

Esta prueba es una variante a la anterior, y aparece en sustitución de la prueba de sedimentación a 5 días. El procedimiento de la prueba es el mismo, lo único que varía es que la muestra es ensayada en 24 horas y el parámetro de la especificación es diferente.

g. Sedimentación en caso de nuevas formulaciones

Si la cantidad de emulsión generada en cada experimento es pequeña, menor al volumen al especificado en la norma (500 ml), se puede llevar a cabo una prueba de sedimentación colocando una muestra de la emulsión en cilindros graduados.

Cada muestra se coloca en un tubo de ensayo de 50 ml, se tapa para evitar evaporación, se rotula y se toman los datos de volumen de emulsión y la fecha y hora de inicio.

A un tiempo determinado, se toma la lectura



donde se observa la interfase agua-emulsión. Finalmente, se grafican los datos de altura vs tiempo Retenido en la malla #20.

h. ASTM D 244-38/41

Esta prueba sirve como complemento a la prueba de sedimentación y tiene como propósito determinar cuantitativamente la cantidad de glóbulos de asfalto que pueden no haberse detectado en la prueba de sedimentación y que podría obstruir el equipo de rociado, así como el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre el agregado.

i. Carga eléctrica. ASTM D-244.

La prueba de carga eléctrica se realiza para identificar las emulsiones catiónicas o aniónicas a través de su corriente eléctrica.

Se lleva a cabo mediante la inmersión de dos electrodos, uno negativo (cátodo) y otro positivo (ánodo) en una muestra de emulsión, conectado a una fuente controlada de corriente continua. Al final de un período de tiempo especificado, se



observan los electrodos para determinar si el cátodo presenta una capa visible de asfalto depositado sobre él, si esto es así, la emulsión se clasifica como catiónica.

2.2.5.9.2 Control de calidad en la aplicación

a. Viscosidad SAYBOLT-FUROL. ASTM D244-D88.

La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido.

En el caso de las emulsiones, la prueba se define como una medida de la consistencia de la misma y por lo tanto da una idea de sus posibilidades de aplicación y comportamiento en un caso determinado.

Los resultados se reportan en segundos. Por conveniencia y precisión de ensayo, se emplean dos temperaturas de prueba, que cubre el intervalo normal de trabajo: 25°C y 50 °C.



b. Miscibilidad de las emulsiones con Cemento Portland ASTM D 244

La prueba se aplica a las emulsiones aniónicas y en algunos casos especiales a las cationicas con la finalidad de conocer la estabilidad de la emulsión al mezclarse con un material tan fino como el cemento.

El ensayo consiste en medir el porcentaje de grumos que se obtienen cuando la emulsión pierde estabilidad al mezclarse con el cemento. Por consiguiente, el valor (% con respecto a la cantidad de emulsión de prueba, 100 g) es un indicativo del elevado grado de estabilidad química de algunas emulsiones de rotura lenta. Muy pocos emulsificantes son capaces de generar emulsiones que pasen este duro ensayo.

c. Miscibilidad con agua ASTM D 244

Esta prueba tiene como finalidad investigar si las emulsiones de rotura media o lenta pueden mezclarse con el agua.

No es aplicable a emulsiones de rotura rápida. Después de adicionarle agua a la



emulsión se procede a agitar la mezcla, se deja la muestra en reposo durante dos horas, luego de ese período de tiempo se examina visualmente para determinar una posible coagulación de los glóbulos de asfalto en la muestra.

Esta prueba es una medida de calidad del producto, además indica si la emulsión es capaz de mezclarse con agua o ser diluida en ella. A menudo se forma un depósito espeso de emulsión en el fondo del recipiente, si es pequeño, ello significará que la emulsión ha sido apropiadamente formulada y que las partículas en dispersión están en el intervalo del tamaño deseado.

d. Ensayos de cubrimiento

Para este ensayo, se mezclan las emulsiones con un material de prueba, de tipo silíceo de cierta granulometría. El material de prueba se subdivide en porciones; a cada muestra se le agrega cierta cantidad de agua de pre- envuelta para lograr las condiciones adecuadas de humedad que faciliten una mejor



manipulación del mezclado de la emulsión con el agregado. Se añade una cantidad de emulsión determinada y se mezcla el conjunto manualmente en un recipiente, con ayuda de una paleta, hasta que se observe que la emulsión ha sido repartida uniformemente en el material. El material cubierto se extiende en papel periódico por 24 horas, o hasta que se observe que el agua ha sido eliminada por completo. Finalmente, se prepara una briqueta, utilizando un equipo Hubbar Field, para determinar las características de adhesión del asfalto residual con el agregado. Luego de preparada la briqueta, se debe esperar 24 horas para proceder a su ruptura, y de esta manera determinar si su resistencia es la adecuada para el propósito requerido.

e. Ensayo de rompimiento

Este ensayo tiene por objeto determinar el tipo de rompimiento de una emulsión (lento, medio o rápido) según la cantidad de cemento que origina la ruptura. Se utiliza un equipo con agitación continua (150 rpm) provisto de un recipiente cilíndrico, con capacidad de 34 g de



emulsión, y un agitador de tipo ancla. Se pesa el sistema (recipiente, agitador y emulsión) y luego se adiciona el cemento portland a razón de 0.2 a 0.3 g/s hasta rotura completa, la cantidad de cemento añadida se estima por diferencia de peso.

2.2.5.10 USOS Y APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas tienen gran aplicabilidad dentro de la industria de los materiales de construcción.

Entre los principales usos de las emulsiones asfálticas tenemos los siguientes:

Tratamientos de Superficie	Reciclado de Asfalto	Otras Aplicaciones
<ol style="list-style-type: none">1. Riego pulverizado2. Sellado con arena2. Lechadas3. Micro aglomerado4. "Cape seal"	<ol style="list-style-type: none">1. Frio in-situ2. Full Depth2. Caliente in-situ3. En planta central	<ol style="list-style-type: none">1. Estabilización (suelo y Base)2. Riegos de Liga3. Bacheo de Mantenimiento4. Paliativos de Polvo4. Riegos de Imprimación5. Sellado de Fisuras6. Recubrimiento de Protección

Tabla 2-6 Principales usos de las emulsiones asfálticas Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)



Estas se pueden usar para diversas aplicaciones dependiendo si contienen o no agregados¹:

Sin agregados

- ✓ Riegos
- ✓ Tratamientos y sellado.

Con agregados

- ✓ Tratamientos superficiales.
- ✓ Tratamientos antifisuras.
- ✓ Lechadas o slurrys.
- ✓ Reciclados.
- ✓ Mezclas en frío

2.2.5.10.1 USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS SIN AGREGADOS.

a. Riego

El riego consiste en la distribución, rociado uniforme de la emulsión asfáltica de manera tal que el mismo sea uniforme. Estos riegos no requieren la utilización de agregados. La forma más común de efectuar el riego de la emulsión asfáltica es utilizando un camión regador.

¹ MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). Emulsiones Asfálticas, Usos-Rompimientos. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.



b. Riego de liga

Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir.

La emulsión comúnmente usada para este trabajo es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida. En algunos casos se utilizan emulsiones medias. El objetivo es lograr una capa fina y uniforme de emulsión la cual liberará el asfalto luego de romper.

c. Riego de Curado

Este riego se aplica sobre un agregado estabilizado con cemento o cal para evitar una evaporación excesiva y con esto facilitar el fraguado. Las normas internacionales recomiendan la utilización de emulsiones de corte rápida para esta tarea. Este riego permite que el pavimento adquiera un color negro uniforme en toda su superficie, fijando cualquier material suelto (polvo) y sellando pequeñas fisuras.



d. Riego Antipolvo

Se realiza en caminos de tierra para fijar el material suelto de su superficie. El objetivo final es obtener una película delgada de asfalto a partir de riegos sucesivos efectuados con una emulsión muy diluida. En caminos de tierra, un automóvil produce 560 toneladas de polvo por Km. al año.

e. Tratamientos y sellado

En este caso, la emulsión se aplica sobre superficie de pavimentos envejecidos con el objeto de rejuvenecerla sellando pequeñas grietas y poros superficiales, o bien producir un puente de adherencia con una nueva carpeta asfáltica que la cubrirá. También puede ser utilizada para sellar (impermeabilizar) la superficie de una carpeta nueva o de un tratamiento superficial de reciente confección.

f. USO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CON AGREGADOS.

- Tratamientos superficiales.

El tratamiento superficial simple consiste en la aplicación de la emulsión sobre una



superficie cualquiera de un camino, seguida de una capa de agregado pétreo de un tamaño aproximadamente uniforme. Se pueden hacer dos o tres aplicaciones sucesivas y alternadas de emulsión asfáltica y de agregado pétreo (tratamiento bicapa y tricapa). Los áridos a emplear en tratamientos superficiales son procedentes de trituración de piedra caliza o grava natural.

- **Tratamientos antifisuras.**

Las fisuras pueden clasificarse por la forma de agruparse, por sus características geométricas y por su origen. Su tratamiento puede hacerse mediante una emulsión asfáltica, esto retarda el nuevo inicio de las fisuras, aunque luego dependerá de la capa de aglomerado que pongamos sobre esta. Las lechadas asfálticas clásicas con emulsiones asfálticas se pueden modificar con la incorporación de fibras para poder incorporar una mayor cantidad del ligante.

En la actualidad se ha desarrollado un geotextil impregnado que sirve como elemento



de retención absorbiendo una cantidad de ligante, mientras que el asfalto asegura la estanqueidad, facilita la unión entre las capas y disipa los movimientos horizontales entre los bordes de la fisura. Se utilizan emulsiones catiónicas modificadas.

- **Lechadas o Slurrys.**

Las lechadas asfálticas y los micropavimentos (microsurfacing) son técnicas modernas de tratamientos superficiales. Ambas se pueden usar para procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento. Para aplicarlas comúnmente se utilizan equipos autopropulsados en los cuales se realiza la mezcla de los componentes y su extendido aunque se pueden utilizar mezcladores comunes y extenderlas manualmente.

Las lechadas asfálticas son la combinación de un agregado denso con emulsión asfáltica, agua, filler mineral y aditivos (si son necesarios) la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento.



Esta técnica se puede realizar sobre pavimentos nuevos o ya existentes, sobre asfalto o concretos, así como también sobre bases estabilizadas (por ejemplo suelo-arena emulsión).

El principio de esta técnica consiste en obtener, por la combinación de todos los componentes, una mezcla con la consistencia de una lechada la cual es esparcida sobre el pavimento. Tan pronto como se realiza la mezcla un proceso químico comienza para culminar con el rompimiento de la emulsión y la cohesión de la mezcla.

- **Reciclados.**

El reciclado en frío puede ser realizado mediante emulsiones asfálticas en planta o insitu.

En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo).



In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

Diferentes surfactantes y aditivos son utilizados para variar las dosificaciones de manera de ajustar una emulsión a una aplicación específica. Dado que el tipo de material que se mezcla con la emulsión tiene una gran influencia en la estabilidad (tiempo de quiebre), es importante que al fabricante de la emulsión le sea entregada una muestra representativa del material que debe ser reciclado. Cualquier tipo de filler activo que se debe añadir en conjunto con la emulsión asfáltica debe ser también suministrado para permitir desarrollar y ensayar la formulación correcta de la emulsión.

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión. Las condiciones que van a hacer que el asfalto se separe de la suspensión (lentamente como “floculación”, o instantáneamente como “quiebre instantáneo”) deben ser claramente entendidas para evitar de que esto ocurra en terreno. De igual manera, el



fabricante debe conocer las condiciones predominantes en terreno para permitir una formulación correcta, incluyendo los detalles de todas las bombas que serán utilizadas para transferir la emulsión entre los estanques y para suministrar la barra con aspersores en la recicladora.

- **Mezclas asfálticas.**

Es la combinación de un árido con un ligante asfáltico, que en una película continua, envuelve todas y cada una de las partículas minerales del árido. Esta mezcla se utiliza en la construcción de pavimentos flexibles de alta calidad, ya sea como bases asfálticas o como carpetas de rodamiento.

- **Mezclas asfálticas en frío**

Las mezclas asfálticas en frío se subdividen en dos grupos según el proceso utilizado para fluidificar el asfalto base:

- ✓ Mezclas en frío con asfaltos rebajados
- ✓ Mezclas en frío con emulsiones asfálticas



Las mezclas en frío con asfaltos rebajados, son la combinación árido-asfalto que utilizan como ligante un cemento asfáltico rebajado, también conocido como asfalto líquido. Este asfalto se obtiene mediante la adición de asfalto base, de solventes de su misma naturaleza (kerosén, nafta, gasoil).

Las mezclas en frío con emulsiones asfálticas son mezclas árido-asfalto que utilizan como ligante el mismo cemento asfáltico empleado en las mezclas en caliente y en frío con asfalto rebajados, con la diferencia de que éste se encuentra emulsionado en una fase acuosa.

La siguiente tabla muestra los usos generales de tipos y grados normalizados de emulsión asfáltica.



Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

Tipo de	ASTM D977						ASTM D2397							
	AASHTO M208						AASHTO M 140							
Mezclas de Asfalto y Agrados:														
Mezcla en Planta (Caliente)						X ^A								
Mezcla en Planta (en Frío)														
Granulometría Abierta					X	X					X	X		
Granulometría Cerrada							X	X	X				X	X
Arena							X	X	X				X	X
Mezclado In-situ														
Granulometría Abierta					X	X					X	X		
Agregado bien Graduado							X	X	X				X	X
Arena							X	X	X				X	X
Suelo Arenoso							X	X	X				X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado														
Tratamientos Superficiales (Simples v Mult)	X	X	X							X	X			
Sellado con Arena	X	X	X	X						X	X			
Lechada Asfáltica (SlurrySeal)							X	X	X				X	X
Micro-aglomerado (Micro-Surfacing)														X ^C
Sellado Doble (SandwichSeal)		X	X							X				
Cape Seal		X								X				
Aplicaciones Asfálticas														
Riego Pulverizado (FogSeal)				X ^B			X ^C	X ^D					X ^D	X ^C
Imprimación (Prime Coat)					X ^D		X ^D	X ^D					X ^D	X ^D
Riego de Liga (TackCoat)				X ^B			X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Paliativo de Polvo (Dust Paliativo)							X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Protección con Asfalto (Mulchtratemen t)							X ^C	X ^C					X ^C	X ^C
Sellado de Fisuras (Crack filler)							X	X					X	X
Mezclas de Mantenimiento														
Uso inmediato							X					X	X	
Acopio							X							

^APueden emplearse otros arados que el HFMS - 2h experiencia demuestre que han comportamiento satisfactorio. ^BDiluido en agua por el fabricante o con agua ^DMezclado solo para el polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación

Tabla 2-7 Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)



2.2.5.11 SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN A UTILIZAR

Los siguientes lineamientos son una guía para seleccionar el tipo y grado de emulsión a utilizar. La primera consideración al elegir el tipo y grado correctos es qué aplicación se dará a la emulsión.

Algunos otros factores que afectan la elección de la emulsión son:

- Las condiciones climáticas previstas para la etapa constructiva.
- Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad
- Disponibilidad de los equipos
- Ubicación geográfica.
- Control de tráfico.
- Consideraciones ambientales.

No hay nada que reemplace a la evaluación en laboratorio de la emulsión y del agregado a ser empleados. Un técnico experimentado puede determinar el tipo y cantidad de emulsión a utilizar. Cada grado de emulsión asfáltica ha sido diseñada para usos específicos. Aquí son descritos en forma general.



2.2.5.11.1 Emulsiones de Rotura Rápida (Rapid-Setting)

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego, como tratamientos superficiales, sellados con arena y tratamientos de superficie. Los grados RS-2, HFRS-2 y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esas emulsiones modificadas con polímeros son usadas rutinariamente cuando se requiere una rápida adhesión, como el caso de áreas de intenso tráfico, cuando el control de tráfico es mínimo o cuando hay cargas pesadas.

2.2.5.11.2 Emulsiones de Rotura Media (Medium-Setting)

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Ejemplos de emulsiones de rotura media son MS-2, CMS 2 y HFMS-2. La nomenclatura de las emulsiones de rotura media



varia de estado a estado. Se sugiere consultar con el productor local de emulsiones, el que puede dar recomendaciones al respecto. La emulsión de alta flotación es una clase especial de emulsión aniónica de rotura media.

La principal diferencia entre ésta y las emulsiones convencionales de rotura media es la existencia de una estructura de gel en el residuo asfáltico, esta estructura es medida en el ensayo de flotación. La característica de flotabilidad aumenta el espesor de la película. Consecuentemente, los residuos asfálticos de alta flotación son menos susceptibles a cambios de temperatura y muy resistentes a fluir a altas temperaturas durante el verano.

Versiones modificadas con polímeros de las emulsiones de rotura media pueden emplearse cuando se requieren estabilidad adicional, mayor durabilidad o cuando es importante una mayor resistencia a la humedad.

2.2.5.11.3 Emulsiones de Rotura Lenta.

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías



cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados períodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas.

Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua. *Diluidos*, estos grados pueden también ser usados para riegos de liga, riegos pulverizados y como paliativos de polvo. La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones de mezcla son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas, algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas.

Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímeros, pueden ser utilizadas cuando se requieren una estabilidad adicional de la mezcla o una mayor ligazón, esto último en el caso de riegos de liga o riego pulverizado.

2.2.5.11.4 Emulsiones de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerados

Los grados QS se utilizan específicamente para aplicaciones de lechadas asfálticas en las que se necesita un rápido tiempo de curado. Esto permite una más rápida liberación al tránsito que en el caso de emulsiones de rotura lenta para lechadas asfálticas. Las lechadas asfálticas con emulsiones de rotura lenta se diseñan para ser colocadas en un espesor igual al del agregado de máximo tamaño. Las emulsiones para micro-aglomerados están modificadas con polímeros y permiten colocar mezclas en espesores mayores que los de las lechadas asfálticas. Un pavimento de micro-aglomerado puede ser normalmente abierto al tránsito antes de que se cumpla una hora de colocado.

2.2.5.12 TIPOS DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

Hay tres tipos de mezclas de emulsión asfáltica y agregados: de granulometría cerrada, con arena y de granulometría abierta².

(ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001)

Las mezclas de granulometría cerrada están compuestas de agregados graduados desde el máximo

² ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S. Lexington. Página 64



tamaño hasta, inclusive, material pasante el tamiz 75 mm (N° 200).

Las mezclas arena emulsión se elaboran tratando, con emulsiones asfálticas, arenas de río, arenas de dunas, arena y gravas pobremente graduadas. Las mezclas con arenas están generalmente limitadas a arenas finas limpias y arenas limosas con bajo contenido de arcilla. Elaboradas con los adecuados grados de emulsiones, las mezclas con arenas han tenido un buen comportamiento como Sub-bases y bases. Para estas mezclas las emulsiones típicamente empleadas son de rotura lenta y de rotura media de alta flotación, preferentemente con grados de mayor dureza o “h”.

Con granulometrías abiertas elaboramos mezclas de alto porcentaje de vacíos, a través de los cuales drena el agua. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente tanto para bases como para carpetas de rodamiento. Debido a la relativa sencillez del equipo de planta necesario y a los altos volúmenes de producción posible, estas mezclas son económicamente atractivas cuando se requiere una mezcla de alta calidad para tráfico pesado. En algunos casos, la performance a largo plazo de mezclas abiertas ha sido comparable con



la de mezclas asfálticas en caliente.

2.2.5.13 USOS PRINCIPALES DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

El Transportation Research Board (TRB) define estabilización como "la modificación de suelos o agregados mediante la incorporación de materiales, incrementando la capacidad portante, la firmeza y la resistencia al desplazamiento por la acción del clima". La estabilización con emulsión asfáltica es muy adaptable a la construcción por etapas, en la que nuevas trochas o capas se agregan a medida que el tráfico aumenta. Debido a sus propiedades cementantes e impermeabilizantes, la emulsión asfáltica puede ser excelente para estabilizaciones.

Los progresos en la tecnología de emulsiones asfálticas hacen posible el empleo de mezclas con emulsiones con una amplia variedad de aplicaciones en construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos. La siguiente tabla enumera los principales usos de las mezclas de emulsiones asfálticas.



Usos Principales de Mezclas con Emulsiones ASFálticas	
Uso de la Mezcla	Propósito del Tratamiento con Emulsión
Como una ayuda constructiva	Facilitar la construcción del pavimento y en algunos casos proveer una plataforma de trabajo
Mejoramiento del comportamiento de agregados marginales	Mejorar el agregado, alcanzando la calidad de una buena base granular sin tratar
Como una superficie de rodamiento temporaria	Proveer una superficie que puede ser utilizada hasta que se coloca, con carácter de pavimento permanente una mezcla asfáltica en caliente o una mezcla con emulsión de alta calidad.
Reducir el espesor total del pavimento	Incrementar la resistencia de los materiales del pavimento y reducir el espesor necesario de la estructura con respecto al espesor correspondiente a materiales sin tratar
Mezclas abiertas para carpetas y bases	Producir una mezcla de alta calidad para tráfico muy intenso. Estas mezclas tienen buena flexibilidad y resistencia a la deformación permanente.
Superficie de rodamiento de granulometría cerrada	Producir una mezcla para carpetas estables que no sufrirán ahuellamiento ni desplazamientos
Sub-base de pavimentos	Permitir el uso de agregados de menor calidad para la elaboración de sub-bases aceptables. Para esta aplicación, se pueden usar arenas, arenas limosas y arenas y gravas de pobre graduación,
Mezclas de mantenimiento de uso inmediato y para acopio	Proveer mezclas de bacheo trabajables que pueden ser diseñadas para uso inmediato o para almacenamiento a largo plazo.

Tabla 2-8 Usos Principales de Mezclas con Emulsiones ASFálticas
Fuente: ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001)

2.2.5.14 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA EN FRÍO.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia las características de la mezcla, y la influencia que estas



puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

- ✓ Densidad de la mezcla
- ✓ Contenido de asfalto.

a. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.



b. Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios sugeridos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto



contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los



agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

2.2.5.15 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en frío. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

2.2.5.15.1 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales),



ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debidas a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar



mezclar más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Tabla 2-9 Causas y Efectos de Inestabilidad



2.2.5.15.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje



de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.



CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al agrietamiento o desintegración	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por diseño o a la falta de compactación
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Tabla 2-10 Causas y Efectos de una Poca Durabilidad

2.2.5.15.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante



para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación. Y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Tabla 2-11 Causas y Efectos de La Permeabilidad

2.2.5.15.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.



Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser



colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

CAUSAS	EFECTOS
Tamaño máximo de partícula grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Tabla 2-12 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad



2.2.5.15.5 Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.2.5.15.6 Resistencia a la Fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento



aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub-rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub-rasantes débiles.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Tabla 2-13 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a La Fatiga



2.2.5.15.7 Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.



CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropilado
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Tabla 2-14 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

2.2.5.16 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método Marshall es necesario modificarlo para emplearlo con mezclas en frío, como es el caso de las emulsiones asfálticas, está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza



empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 1/2") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad - análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

Este diseño de mezclas esta sugerido por (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001) para mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo del agregado de 25 mm (1 pulgada) o menos y emulsiones de roturas media o lenta. Es aplicable a mezclas elaboradas en el camino o en planta, a temperatura ambiente, y de colocación inmediata o acopio.

Al existir una gran variedad de emulsiones, con poco conocimiento de las ventajas de uso de las mismas para ganar tiempo recomienda seguir las sugerencias que se han presentado como criterios generales para la



selección de la emulsión asfáltica, pero sin olvidar que puede ser necesario y valioso el criterio personal que puede ser la experiencia de uso en otras aplicaciones similares. Para esta selección de tipo y grado de emulsión deben considerarse no sólo las características del agregado, sino también la del residuo de asfalto - base dura o blanda, contenido de solvente, modificación con polímeros y la velocidad de curado de la emulsión (rotura media o lenta).

La carencia de un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsión asfáltica y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de granulometría abierta ha permitido gran cantidad de variaciones basadas en métodos empíricos, sin comprobarse cuál es el mejor método de diseño, basándose más en disponibilidad de equipo de diseño, experiencia y conocimiento . Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método de ensayo de Hveem (ASTM D 1560 y 1561 ó AASHTO T 246 y 247) o del método de ensayo Marshall (ASTM D 1559 ó AASHTO T 245).

Para las mezclas de agregado - emulsión es necesario un diseño. Es esencial preparar en el laboratorio mezclas de prueba para determinar el grado y porcentaje de



emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del sistema. Debería determinarse la susceptibilidad de la mezcla con emulsión al daño por agua.

De manera general para el diseño de este tipo de mezclas de agregado - emulsión se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Estudio de los Agregados a utilizar
- ✓ Selección del tipo de Emulsión y grado de emulsión a utilizar
- ✓ Determinación del contenido tentativo de asfalto
- ✓ Determinación de la cantidad de agua ensayo de Recubrimiento y Adhesión
- ✓ Determinación del contenido óptimo de emulsión mediante el diseño Marshall modificado para emulsiones



CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO

Las principales técnicas de investigación empleadas en este proyecto son los ensayos de Laboratorio realizados en el Laboratorio de asfalto de CAH Contratistas Generales S:A..

Estos ensayos fueron aplicados a las muestras tomadas de la cantera seleccionada realizándose los siguientes ensayos:

- ✓ Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).
- ✓ Análisis Granulométrico por tamizado.
- ✓ Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos.
- ✓ Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo.
- ✓ Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2),
- ✓ Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas.
- ✓ Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall.



METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS Y NORMAS EMPLEADAS

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS (EM 2000)	
Ensayo	Norma
Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).	MTC E 105 – 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000.
Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos,	MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176.
Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo	MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216.
Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2),	MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535.
Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas	MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59
Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de marshall	MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86



3.1.1 Obtención en laboratorio de muestras representativas

(cuarteo) (MTC E 105 – 2000, NTP 350.001, ASTM C 702- 93)

Es el procedimiento para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.

3.1.2 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D 422,

AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).-

Se trata de la determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partículas de suelo, esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N° 200).

✓ OBJETIVO

Conocer la distribución de tamaños existente en las muestras y luego realizar sus respectivas curvas granulométricas.

✓ EQUIPO

2. Balanza de sensibilidad de 0.1 gr.
3. Juego de tamices: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 10, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 100, N° 200, incluyendo tapa y fondo, las mallas son de abertura cuadrada.
4. Mortero y mano de mortero o un pulverizador mecánico de suelo.



✓ PROCEDIMIENTO

El proceso de la determinación de una granulometría total de una muestra sería una actividad inútil que tomaría mucho tiempo, por este motivo es recomendable el procedimiento conocido como “Cuarteo” que consiste en disminuir el tamaño de la muestra por obtener una muestra representativa a un tamaño conveniente que facilite su manejo, o de dividirla en partes con similares características para utilizarlo en otros ensayos.

Se procede de la siguiente manera:

1. Se coloca la muestra buscando ocupar el mayor espacio posible en una superficie limpia y plana.
2. Se combina toda la muestra usando palas.
3. Se procede a formar con el material un depósito en forma cónico, este depósito cónico se aplanan con palas quedando la muestra de forma circular uniforme.
4. Con las palas se procede a dividir en cuatro partes más o menos iguales, se eligen dos partes opuestas y se unen, desechándose las otras dos.
5. Existen cuarteadores mecánicos que dividen la muestra más rápidamente, de preferencia son utilizados para grandes cantidades de material, pero se obtiene el mismo resultado



6. Se repite el procedimiento anterior hasta tener la cantidad de material necesario para el análisis granulométrico, en nuestro caso por tener partículas de tamaño máximo 2 pulgada más o menos 5 a 6 kg para el material granular.
7. Se seca en horno el material obtenido por cuarteo durante 24 horas a una temperatura de 110 °C o a la intemperie si el clima lo permite, la finalidad es conseguir un peso constante.
8. Se ubican los tamices colocándolos en forma descendente en cuanto a su diámetro, los diámetros mayores queden se sitúan arriba, el último tamiz colocado es el N° 200, debajo de la cual se coloca una base.
9. Se pasa el agregado por los tamices y se sacude un tiempo adecuado hasta que se observe que la muestra no pase al siguiente tamiz.
10. Se coloca una base o fondo para tamizar por separado cada malla debajo de la que se coloca la misma y se tamiza hasta que no pase material a ésta, el pasante se agrega al tamiz siguiente. El material retenido en cada tamiz se coloca en la base y luego se pesa. Para el agregado grueso es sencillo colocarlo en la base, en el agregado fino es necesario cuidar que no se pierda material o que quede retenido en un tamiz para evitar esto se utilizara una escobilla.



11. En todos los tamices se realiza el mismo procedimiento, registrándose en cada uno el peso que retiene. También se apunta el material que se almacena en la base que paso la malla N° 200. Esto nos permite controlar en caso de existencia de errores. Se anota el peso seco lavado antes de pasarlo por los tamices, la suma de los pesos retenidos en los distintos tamices hasta la malla N° 200 más el peso que queda en la base debe coincidir con éste.

3.1.3 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176)

El objetivo es determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos

El ensayo de equivalente de arena es un método para determinar las cantidades indeseables de polvo fino y arcilla en la muestra de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (N° 4).

El término de equivalente de arena asume que todos los suelos tienen partículas de diferentes tamaños estos se encuentran mezclados desde tamaños gruesos, arenas y finos.

En el ensayo se puede definir al equivalente de arena como la relación entre la altura de la arena con respecto a la altura de la arcilla expresada en porcentaje.



Este procedimiento puede utilizarse fácilmente en obra para determinar cambios en la calidad de los agregados.

✓ **OBJETIVO**

Asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm).

✓ **EQUIPO**

1. Tuvo irrigador de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
2. Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
3. Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.



4. Tubo flexible de caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
5. Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (barra metálica, disco y sobrecarga).
6. Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
7. Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
8. Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
9. Tamiz. Tamiz N^o4 según especificaciones ASTM E11
10. Recipiente para mezcla
11. Horno. Capaz de mantener temperaturas de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.
12. Papel filtro

Preparación de la Solución Madre



Reactivos y materiales

1. Agua destilada
2. Reactivos y materiales
3. Cloruro de calcio anhidro, 454 gr.
4. Glicerina USP, 2050 gr (1640 ml)
5. Formaldehído, (40% en volumen) 47 gr (45 ml)

Preparación

1. Disolver 454 gr. cloruro de calcio anhidro en 0.5 gal (1.9 lt) de agua destilada.
2. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa por papel de filtro. A la solución filtrada se le incorpora los 2050 gr de glicerina y 47 gr. de formaldehído mezclar bien.

Preparación de la Solución de Trabajo

Reactivos y materiales

1. Solución madre
2. Agua destilada

Preparación

1. Diluir 85 ± 5 ml de la solución madre en 1 gal (3.8 lt) de agua destilada

Preparación de la muestra



1. Separar aproximadamente 1500 gr de material que pase el tamiz N° 4 (4.75 mm) ASTM D 75 de acuerdo ASTM 702.
2. Secar la muestra de ensayo a peso constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y dejarlo enfriar a temperatura ambiente antes del ensayo.

Preparación de Aparatos

1. Ajustar el sifón a un botellón de 1.0 gal (3.8 lt) conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un lugar ubicado a 91 ± 3 cm sobre la mesa de trabajo.
2. Soplar el sifón dentro del botellón con solución, por el tubo de purga y con la abrazadera abierta.

✓ PROCEDIMIENTO

1. Por el sifón verter 102 ± 3 mm (4 pulg). de solución de trabajo de cloruro de calcio, en la probeta.
2. Con ayuda del embudo verter en la probeta, 85 ± 5 cm³ del suelo preparado.
3. Golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra. Dejar reposar durante 10 ± 1 min.
4. Transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el



cilindro y agitándolo a la vez. El material puede ser agitado con cualquiera de los siguientes métodos:

a. Método mecánico

- i. Colóquese la probeta tapada en el agitador mecánico, y permitir que lo sacuda por 45 ± 1 s.

b. Método del agitador manual

- ii. Ajustar la probeta tapada con las tres pinzas de resorte, sobre el soporte del agitador manual y ponga el contador en tiempo cero.
- iii. Párese frente al agitador y fuerce el puntero sobre la marca límite pintada en el tablero, aplicando la fuerza horizontal sobre la biela resortada del lado derecho. Luego retirar la mano de la biela y deje que la acción del resorte mueva el soporte y la probeta en la dirección opuesta sin ayuda e impedimento alguno.
- iv. Aplique suficiente fuerza a la biela resortada, con la mano derecha, durante el recorrido con empuje para llevar el índice hasta la marca límite del émbolo, empujando la biela con la punta de los dedos para mantener un movimiento oscilatorio suave. El centro del límite de carrera está colocado para prever la longitud adecuada del movimiento y su ancho se ajusta al máximo de variación permitida. La cantidad correcta de



agitación se logra solamente cuando el extremo del índice invierte su dirección dentro de los límites marcados. Una correcta agitación puede mantenerse usando solamente el antebrazo y la muñeca para mantener el agitador.

v. Continúe la agitación por 100 ciclos.

c. Método manual

- i. Sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha.
 - ii. Agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de 23 ± 3 cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.
5. Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.

Proceso de irrigación.

1. El cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo.
2. Introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie



el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja.

3. El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre las partículas gruesas de arena.
4. Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38.0 cm.

Lectura de arcilla.

1. Dejar reposar durante 20 min. \pm 15 s. Comience a medir el tiempo luego de retirar el tubo irrigador.
2. Al término de los 20 min., leer el nivel superior de la suspensión de arcilla. Este valor se denomina lectura de arcilla. Si la línea de marca no es clara transcurridos los 20 min. del período de sedimentación, permita que la muestra repose sin ser perturbada hasta que una lectura de arcilla pueda ser claramente obtenida; inmediatamente, lea y anote el



nivel máximo de la suspensión arcillosa y el tiempo total de sedimentación. Si el período total de sedimentación excede los 30 min., efectúe nuevamente el ensayo, usando tres especímenes individuales de la misma muestra. Registre la lectura de la columna de arcilla para la muestra que requiere el menor tiempo de sedimentación como lectura de arcilla.

Lectura de arena.

1. Después de la lectura de arcilla, introduzca en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y baje lentamente hasta que llegue sobre la arena. No permitir que el indicador golpee la boca de la probeta mientras se baja el conjunto.
2. Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta, lea y anote. Restar 25.4 cm. del nivel indicado en el borde superior del indicador y registrar este valor como la lectura de arena.
3. Después de tomar la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar con el pie porque podría dar lecturas erróneas.



4. Si las lecturas de arcilla y arena están entre 2.5 mm de graduación (0.1 pulgadas), registrar el nivel de graduación inmediatamente superior como lectura.

3.1.4 Método de Ensayo para Determinar el Contenido de

Humedad de un suelo, (MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216)

Este es un Ensayo rutinario de Laboratorio para determinar la cantidad dada de agua presente en una cantidad específica de suelo en términos de su peso en seco.

3.1.5 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados

de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”), por medio de la máquina de los Ángeles.

3.1.6 Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas,

(MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59)

El ensayo es una determinación visual de la facilidad de emulsión aniónica o cationica para cubrir un determinado tipo



de gravilla, básica o ácida, respectivamente, cuando se mezcla con ella en tiempo determinado.

3.1.7 Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall, (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86)

Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de la mismas.

3.1.8 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000)

Se trata de la determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partículas de suelo, esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N° 200).



3.1.9 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176)

El objetivo es determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos

3.1.10 Método de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un suelo, (MTC E 108 – 2000, ASTM D 2216)

Este es un Ensayo rutinario de Laboratorio para determinar la cantidad dada de agua presente en una cantidad específica de suelo en términos de su peso en seco.

3.1.11 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste y degradación en los procesos de producción, colocación y compactación de la construcción de pavimentación, y con mayor importancia durante la vida de servicio del pavimento.

La carga de la rueda ejerce una presión vertical considerada uniforme y alta en la superficie de rodadura distribuyéndola hasta que llegue mínimamente a la sub-rasante.



Por este motivo se exige que los agregados que estén más cerca de la superficie como los materiales de base y carpeta asfáltica, presenten mayor resistencia que los agregados usados en capas inferiores como la sub base, la razón se debe a que las capas superficiales reciben mayores esfuerzos y sufren mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

La forma de transmisión de esfuerzos de los agregados es por medio de puntos de contacto donde se concentran altas presiones.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión. (MINAYA GONZALES & ORDÓÑEZ HUAMAN, 2001).

Con mucha frecuencia se utiliza como un indicador de la calidad relativa de los agregados o rocas trituradas al resultado de este ensayo.

La medida de la degradación de los agregados se la obtiene mediante la acción combinada de roce e impacto.

El ensayo aplicado consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se



añade una carga de esferas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las esferas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

En el ensayo de resistencia a la abrasión se utiliza la Máquina de los Ángeles. Este es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.

Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.



Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe remplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla.



METODO		A	B	C	
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el Tamiz	Retenido en Tamiz				
1 ½"	1"	1 250±25			
1"	¾"	1 250±25			
¾"	½"	1 250±10	2 500±10		
½"	3/8"	1 250±10	2 500±10		
3/8"	¼"			2 500±10	
¼"	N°4			2 500±10	
N°4	N°8				5 000±10
PESO TOTAL		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10
N° de Esferas		12	11	8	6
N° de Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Tabla 4-1 Peso de agregado y Número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½"

Fuente: Ensayo de Abrasión (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535)



✓ OBJETIVO

Determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos, por medio de la máquina de los Ángeles.

✓ EQUIPO

1. Máquina de desgaste de Los Ángeles
2. Tamices. De los siguientes tamaños: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°8. Un tamiz N°12 para el cálculo del desgaste
3. Esferas de acero. De 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
4. Horno. Capaz de mantener una temperatura de 110±5 °C
5. Balanza. Sensibilidad de 1.0 gr.

MATERIAL Y CARGA ABRASIVA A UTILIZAR

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. Se utilizara la anterior tabla propuesta por **MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535**

✓ PROCEDIMIENTO

1. El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105 -110 °C, tamizadas según las



mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.

2. Pesar la muestra con precisión de 5 gr. para agregados gruesos de tamaños mayores a 3/4”.
3. Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado según el método.
4. Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla N°12.
5. El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C pesar la muestra con precisión de 1 gr.

✓ CÁLCULOS

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2”) y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”), por medio de la máquina de los Ángeles.



3.1.12 Cubrimiento de los Agregados con Emulsiones Asfálticas, (MTC E 412 – 2000, ASTM D 244, AASHTO T 59)

El ensayo es una determinación visual de la facilidad de emulsión aniónica o catiónica para cubrir un determinado tipo de gravilla, básica o ácida, respectivamente, cuando se mezcla con ella en tiempo determinado.

✓ **OBJETIVO**

Determinar el porcentaje de agua que permita un recubrimiento mínimo óptimo de las bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

✓ **EQUIPO**

1. Balanza, con suficiente capacidad para soportar el peso de la muestra y sensible a 0.5 gr.
2. Horno capaz de mantener la temperatura a 110 °C
3. Espátula de acero
4. Envase adecuado para mezcla

✓ **PROCEDIMIENTO**

1. Separamos cantidades suficientes de agregados fino y grueso para cada mezcla, buscando la mejor representatividad utilizando el procedimiento de cuarteo.

2. Secamos el material por un período de 24 horas en el horno a una temperatura de 110 °C hasta obtener un peso constante.
3. Se saca del horno se espera que e
4. nfríe, a temperatura ambiente pero intentando que no gane humedad, se guardara en fundas para evitar la ganancia de humedad y para utilizar estos agregados preparados en otros ensayos, si no se realiza este procedimiento se deberá calcular el peso seco de los



Fotografía 4-2 Pesaje de Agregados para Ensayo de Recubrimiento.

6. Separamos el agua de pre mezclado y mezcle manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
7. Pese el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura de uso prevista y adicione al agregado húmedo; mezcle

manualmente en forma vigorosa durante 60 segundos utilizando mezclador, en este caso particular se realizó la mezcla de forma manual, el tiempo de mezclado para esta forma es de 1 a 3 minutos, hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla

8. Coloque la mezcla sobre una superficie plana y estime visualmente el grado de recubrimiento. Visualmente se valoran las diferentes mezclas después de media hora y presta atención al cambio de color de las mezclas al pasar de un color marrón a negro, cuando ocurra esto significa que se ha dado el rompimiento de la emulsión, entonces se ve mejor



Fotografía 4-3 Determinación del Recubrimiento



3.1.13 Resistencia de Mezclas Bituminosas empleando el aparato de Marshall, (MTC E 504, ASTM D 1559, AASHTO T 245, NLT 159/86)

Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de la mismas.

4.1.1 OBJETIVO

El objetivo de la realización del diseño utilizando el Método Marshall es determinar la cantidad óptima de Asfalto, expresada en porcentaje de Emulsión, como se trata de bases asfálticas, el óptimo es la cantidad mínima de emulsión que puede estabilizar a los agregados para que se cumplan las normativas de diseño.

Para conseguir este objetivo se sigue los procedimientos descritos para el Método Marshall con las respectivas variaciones, porque este método fue originalmente propuesto para mezclas asfálticas en caliente, sin embargo es muy utilizado por el gran conocimiento general del método y que los equipos necesarios se los puede encontrar en casi cualquier lugar.



4.1.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TENTATIVO DE EMULSIÓN

Como se expuso en la teoría previa, existen varios métodos para determinar el contenido tentativo de emulsión; pero son más utilizados para el diseño de carpeta asfáltica.

Para una aplicación correcta de lo que se desea buscar; se utiliza la fórmula propuesta por Instituto del Asfalto, para la estabilización de bases con emulsión que es la siguiente:

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{[(0.06 \times B) + (0.01 \times C)]}{A} \times 100$$

Dónde:

% Emulsión = Porcentaje inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del peso seco del agregado

A= Porcentaje de Asfalto Residual de la Emulsión

B =Porcentaje de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C= 100- B = Porcentaje de agregado seco retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm)

4.1.3 FABRICACIÓN DE BRIQUETAS.-

✓ **MATERIAL Y EQUIPO.**

1. Material Granular de cada cantera (1200 gr) para cada briqueta.

2. Emulsión CSS – 1H (Proveedor CAH contratistas generales S.A.)
3. Disco de papel parafinado
4. Balanza de precisión de 0.1 gr.
5. Equipo misceláneo. (Brochas para limpieza, cepillo, espátulas de 4”, charolas de lámina galvanizada, palas manuales, cucharas y cuchilla)
6. Pipeta plástica
7. Moldes para briquetas
8. Martillo mecánico Marshall
9. Equipo para desmoldar briquetas Marshall



Fotografía 4-4 Equipos Utilizados en la Compactación de Briquetas por el Método Marshall



Fotografía 4-5 Equipos Utilizados en la extracción de Briquetas por el Método Marshall

✓ **PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO.**

El Instituto del Asfalto en su publicación Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S, sugiere la realización de 3 puntos mínimo para la determinación del porcentaje óptimo de la emulsión.

En cada punto se elaboraron 6 briquetas, la mitad para realizar la estabilidad seca y las otras 3 para estabilidad saturada.

El procedimiento es el siguiente:

1. Pese en envases adecuados las cantidades de agregados necesarios en peso seco, si los agregados están húmedos sus cantidades corregidas a peso seco, se busca obtener briquetas compactadas cuyas alturas sean similares a 63.5 mm (2.5 pulgadas)



2. Debe ponerse cuidado en que los agregados para cada briqueta sean representativos de los agregados del proyecto.
3. Los agregados secos se los cubrirá para prevenir la ganancia de humedad.
4. Colocar la arena y ripio en una charola, y mezclar uniformemente.
5. Si se necesita agua de pre-mezclado, pese, agregándola a los agregados, la cantidad predeterminada que se estableció en el ensayo de recubrimiento y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad esta uniformemente distribuida. Para la adición del agua nos valemos de la pipeta donde medimos el peso del agua en volumen.
6. Esto debe realizarse antes de la adición y mezclado de la emulsión.
7. Pese la cantidad calculada de emulsión y colóquela sobre los agregados a temperatura ambiente y agite vigorosamente durante 1 a 3 minutos en nuestro caso fue 90 segundos, una medida visual de la adecuada mezcla es que la emulsión se haya dispersado lo suficientemente.
8. Esperar a que la mezcla pierda humedad y cambie de color que indica el rompimiento de la emulsión, todo esto se realiza a temperatura ambiente, finalidad de este procedimiento es mejorar la compactación



Fotografía 4-6 Colocación de la Emulsión sobre los Materiales Granulares.



Fotografía 4-7 Mezcla del Material Granular con Emulsión Asfáltica después de Pérdida de Humedad y Rotura de Emulsión

✓ **PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN**

1. Colocar en el molde y el collar sobre la base del pedestal que forma parte del equipo de compactación Marshall, en el interior poner disco de papel parafinado con las dimensiones del interior del molde, luego colocar la mezcla asfáltica.



2. Varillar la mezcla en el molde, dándole 15 punzadas en el perímetro y 10 en el centro, con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada, y colocar otro disco de papel parafinado.
3. Colocar el martillo Marshall con una caída libre de 457.2 mm (18.0 pulgadas) sobre el molde, para luego proceder a la compactación, procurando dar de forma constante el número de golpes según sea el diseño. En nuestra investigación el uso va a ser en una vía urbana, por este motivo se someterá a las briquetas a 75 golpes.
4. Terminada la compactación en la primera cara, invertimos el molde para golpear la cara que no estuvo expuesta.
5. Retire la base, el collar, los discos de papel (si fuera posible, si se compromete la briqueta conservarlo hasta que se pueda sacar sin dañar la superficie) y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en el horno a 60 °C (140 F) durante 48 Horas (JIMÉNEZ ACUÑA, SIBAJA OBANDO, & MOLINA ZAMORA, 2008). Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de mezcla que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.
6. Pasado el tiempo de curado de las briquetas a la temperatura de 60 °C, se procede a sacarlas de los moldes, para esto se deja enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmolde. Para esto nos ayudamos del equipo apropiado para este objetivo.



Fotografía 4-8 Fabricación de una briqueta, llenado del molde para compactar con el Martillo



Fotografía 4-9 Muestras Compactadas en los Moldes para Briquetas con los materiales granulares



Fotografía 4-10 Curado de Muestras en Moldes para Briquetas en Horno



Fotografía 4-11 Equipo para Desmolde de Briquetas y Muestras Desmoldadas

4.1.4 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS

Con las briquetas compactadas se determinan los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad.



Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados; se los calcula sólo como aproximaciones, debido a la posibilidad de que exista humedad en las briquetas compactadas, curadas y al gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desean valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad.

Propiedades Volumétricas (Método Marshall Modificado).

La determinación de las propiedades volumétricas se realiza por medio del caso general expuesto para este tipo de mezclas con emulsión asfáltica esto es utilizando la geometría y el peso en el aire para determinar la densidad Bulk.

Debe recordarse que solo se realiza la determinación por esta forma para comprobar la validez de la compactación de briquetas y comprobar que las briquetas sean similares.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

Dónde:

D_b = Densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada

W_a = Peso, en aire del espécimen compactado

H = Altura del espécimen compactado

A = Altura de la selección transversal de un espécimen compactado, se lo obtiene de la fórmula ($A = \pi r^2$)

✓ **EQUIPO**

1. Calibrador
2. Balanza
3. Tizas



Fotografía 4-12 Equipo utilizado para la determinación de Propiedades Volumétricas

✓ **PROCEDIMIENTO**

1. Marcamos las briquetas con un crayón con un código fácil de identificar según sus propiedades.
2. Realizamos 4 marcas en una cara con el crayón, 2 en el sentido de un diámetro y las otras 2 en el diámetro perpendicular a este.

3. Realizamos la medición de altura en estos cuatro puntos anteriormente marcados.
4. Realizamos la medición de los diámetros en los 2 sentidos de los diámetros.
5. Estos valores serán promediados



Fotografía 4-13 Señalización de Marcas para Medición de Dimensiones

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2.1 Análisis Granulométrico por tamizado (MTC E 107- 2000, ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 – 2000).-

✓ RESULTADOS

Resultado del Análisis Granulométrico por tamizado de la cantera La Sorpresa (Ag. Grueso) y La Cumbre (Ag. Fino):

REPORTE DE ENSAYO PEA-LAB N°013-2016 -2/10

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

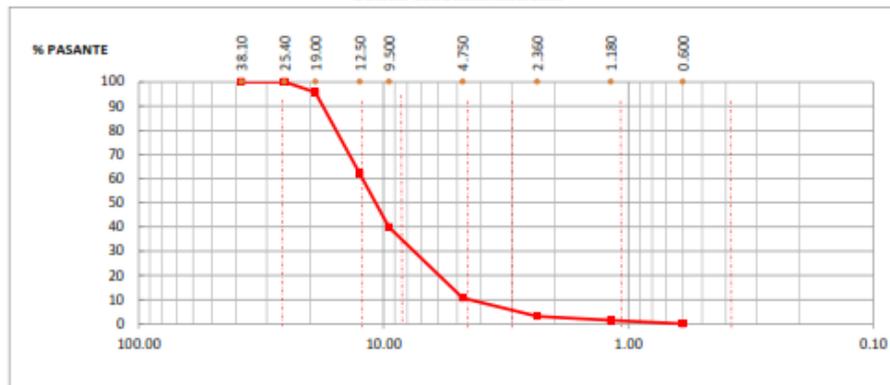
DATOS GENERALES	
CLIENTE	: Bach. MIGUEL ANGEL OTINIANO ARRIBASPLATA - Bach. MARICARMEN PARIÁ CABALLERO
UBICACIÓN	: NUEVO CHIMBOTE
TESIS	: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS PRESENTES EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD - Nvo. CHIMBOTE - 2015

DATOS DE LA MUESTRA	
DISEÑO	: MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO
MATERIAL	: AGREGADO GRUESO
CANTERA	: GALLO
FECHA	: 09-06-16

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1.2"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	275.1	4.3	4.3	95.7
1/2"	12.50	2135.9	33.5	37.9	62.1
3/8"	9.500	1411.4	22.2	60.0	40.0
Nº 4	4.750	1866.0	29.3	89.3	10.7
Nº 8	2.360	479.3	7.5	96.9	3.1
Nº16	1.180	109.2	1.7	98.6	1.4
Nº 30	0.600	90.1	1.4	100.0	0.0

6367.00

CURVA GRANULOMETRICA





REPORTE DE ENSAYO PEA-LAB N°013-2016 -1/10

ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

DATOS GENERALES

CLIENTE	: Bach. MIGUEL ANGEL OTINIANO ARRIBASPLATA - Bach. MARICARMEN PARIÁ CABALLERO
UBICACIÓN	: NUEVO CHIMBOTE
TESIS	: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS PRESENTES EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD - Nvo. CHIMBOTE - 2015"

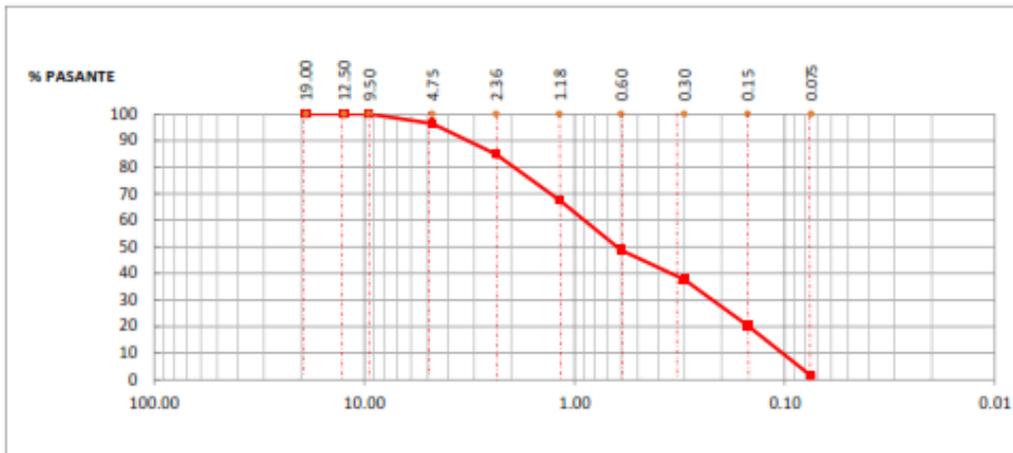
DATOS DE LA MUESTRA

DISEÑO	: MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO
MATERIAL	: AGREGADO FINO
CANTERA	: GALLO
FECHA	: 09-06-16

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.75	29.5	3.6	3.6	96.4
Nº 8	2.36	96.8	11.6	15.1	84.9
Nº 16	1.18	144.6	17.3	32.4	67.6
Nº 30	0.60	157.6	18.8	51.2	48.8
Nº 50	0.30	92.5	11.0	62.3	37.7
Nº 100	0.15	145.7	17.4	79.7	20.3
Nº 200	0.075	157.6	18.8	98.5	1.5
< Nº 200	FONDO	12.4	1.5	100.0	0.0

837.20

CURVA GRANULOMETRICA





4.2.2 Equivalente de Arena, Suelos y Agregados Finos, (MTC E 114 – 2000, ASTM 2419, AASHTO T 176).-

✓ RESULTADO

Los resultados del ensayo Equivalente de Arena de los materiales granulares de la cantera La Cumbre se presenta en la siguiente tabla:

DATOS DE LA MUESTRA			
Material Granular			
Cantera : La Cumbre			
	A.- NIVEL SUPERIOR DE ARENA	135	
	B.- NIVEL SUPERIOR DE ARCILLA	184	
	C.- NIVEL DE ARCILLA	49	
FORMULA = $A/B*100$			
EQUIVALENTE DE ARENA =		73.37	%

Resultado del Ensayo Equivalente de Arena de la Cantera La Cumbre



4.2.3 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2) (MTC E 207 – 2000, ASTM C 131, AASHTO T 96, ASTM C 535).-

✓ RESULTADOS

Los resultados del ensayo de abrasión de la cantera La Sorpresa se encuentran en la siguiente tabla.

DATOS DE LA MUESTRA					
Material Granular					
Cantera : La Sorpresa					
PASA	RETIENE	PESO DE MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PERDIDA DE MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE ABRASION
1 1/2"	1"	1250	1085	165	13.2
1"	3/4"	1250	1075	175	14
3/4"	1/2"	1250	1060	190	15.2
1/2"	3/8"	1250	1052	198	15.84
% DE ABRASION					14.6

- **Resultado del Ensayo Abrasión Los Ángeles, cantera La Sorpresa**



4.3 DISEÑO MARSHALL MODIFICADO PARA MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.

REPORTE DE ENSAYO PEA-LAB N°013-2016 -10/10

ENSAYO MARSHALL MODIFICADO ASTM D-1559

DATOS GENERALES	
CLIENTE	: Bach. MIGUEL ANGEL OTINIANO ARRIBASPLATA - Bach. MARICARMEN PARRIA CABALLERO
UBICACIÓN	: NUEVO CHIMBOTE
TESIS	: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PRESENTES EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD - Nvo. CHIMBOTE - 2015"

DATOS DE LA MUESTRA	
DISEÑO	: MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO
FECHA	: 09-06-16

RESULTADOS:

RESULTADOS:		ESPECIFICACION
ÓPTIMO CONTENIDO DE EMULSION, %	7.5	
DENSIDAD BULK SECA, g/cc	2.357	
ESTABILIDAD, Lb	5129	500 Min.
PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	9.9	50 Max.
FLUENCIA, pulg	12.3	8-18
HUMEDAD DE ABSORCIÓN, %	1.98	4.0 Max.
VACIOS TOTALES, %	2.6	2-8
RECUBRIMIENTO DEL AGREGADO, %	75	50 Min.

COMBINACIONES:

Agregado Fino	: 45.0%
Agregado Grueso	: 53.5%
cemento portland	: 1.5%
Agua	: 1.5%
Emulsión CSS-1h	: 7.5%

DOSIFICACIÓN:

P.V.S. seco Agregados	: 1589.0 kg/m ³
Cemento portland	: 0.56 bls/m ³
Agua	: 6.3 gls/m ³
Emulsión CSS-1h	: 31.5 gls/m ³

CONSIDERACIONES:

Humedad de mezcla	
Humedad total en la mezcla	: 1.5%
Humedad de compactación	: 4.5%
	: 3.0%
La mezcla debe perder humedad para su compactación : 6.3 gls/m ³	

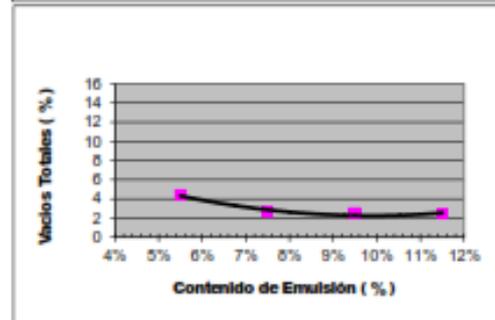
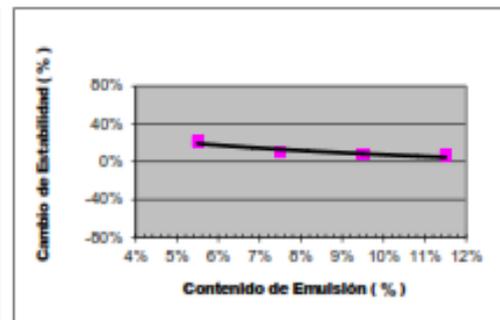
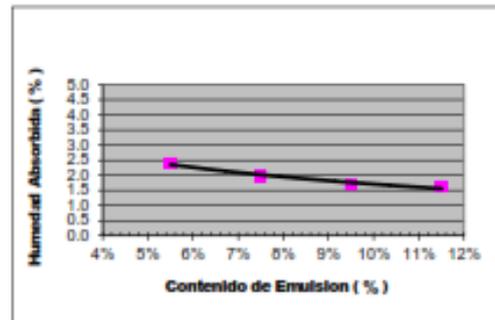
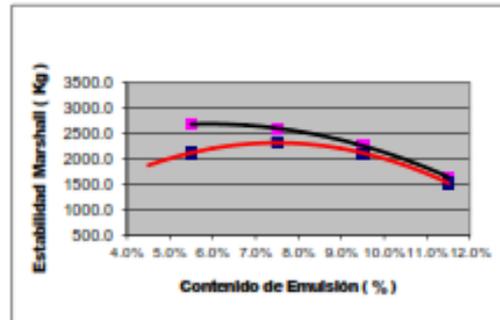
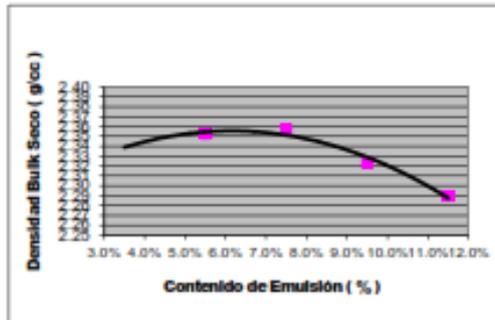
REPORTE DE ENSAYO PEA-LAB N°013-2016 - 9/10

ENSAYO MARSHALL MODIFICADO

ASTM D-1559

DATOS GENERALES	
CLIENTE	: Bach. MIGUEL ANGEL OTINIANO ARRIBASPLATA - Bach. MARICARMEN PARIÁ CABALLERO
UBICACIÓN	: NUEVO CHIMBOTE
TESIS	: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS PRESENTES EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS Y AGREGADOS PÉTREOS DE LA LOCALIDAD - Nvo. CHIMBOTE - 2015"

DATOS DE LA MUESTRA	
DISEÑO	: MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO
FECHA	: 09-06-16



CAH CONTRATISTAS GENERALES S.A.
 TITULO VERDADERO SARRAZUELA
 JEFE DE LABORATORIO



4.4. Análisis comparativo de precios unitarios entre la elaboración de carpeta asfáltica en frío con emulsión asfáltica CSS-1h y carpeta asfáltica en caliente convencional (e= 2")

- Carpeta asfáltica en frío con emulsión asfáltica CSS-1h

Partida CARPETA ASFALTICA EN FRIO e=2"						
Rendim	3000.00	M2/DIA	Cto unit. directo por m2			31.27
Descripción Recurso						
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
CAPATAZ	hh	1.00		0.0027	25.00	0.07
operario	hh	6.00		0.0160	19.00	0.30
oficial	hh	6.00		0.0160	17.00	0.27
peon	hh	6.00		0.0160	15.00	0.24
						0.88
Materiales						
ASFALTO EMULSIONADO CSS-1h	gl			1.5750	9.00	14.18
AGUA	gl			0.3150	0.10	0.03
ARENA	m3			0.0900	35.00	3.15
PIEDRA 1/2"	m3			0.1070	80.00	8.56
CEMENTO PORTLAND	bol			0.0280	15.85	0.44
						26.36
Equipos						
HERRAMIENTAS	%			0.0500	0.57	0.03
Planta en frío	hm	1.00		0.0027	400.00	1.07
Volquetes 10m3	hm	4.00		0.0107	100.00	1.07
Esparcidora	hm	1.00		0.0027	200.00	0.53
Rodillo Neumatico	hm	1.00		0.0027	170.00	0.45
Rodillo tandem	hm	1.00		0.0027	170.00	0.45
Cargador frontal	hm	1.00		0.0027	160.00	0.43
						4.03

- Carpeta asfáltica en caliente

Partida CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE e=2"						
Rendim	3200.00	M2/DIA	Cto unit. directo por m2			31.90
Descripción Recurso						
Mano de Obra		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
CAPATAZ	hh	1.00		0.0025	25.00	0.06
operario	hh	5.00		0.0125	19.00	0.24
oficial	hh	4.00		0.0100	17.00	0.17
peon		6.00		0.0150	15.00	0.23
						0.70
Materiales						
Cemento AsfálticoPEN 60-70	gl			2.0000	9.00	18.00
ARENA	m3			0.0500	35.00	1.75
PIEDRA 1/2"	m3			0.0400	80.00	3.20
Aditivo tipo Amina	kg			0.0400	30.00	1.20
CEMENTO PORTLAND	bol			0.0280	15.85	0.44
						24.15
Equipos						
HERRAMIENTAS	%			0.0500	0.70	0.03
Planta en caliente	hm	1.00		0.0025	1200.00	3.00
Volquetes 15m3	hm	7.00		0.0175	130.00	2.28
Esparcidora	hm	1.00		0.0025	200.00	0.50
Rodillo Neumatico	hm	1.00		0.0025	170.00	0.43
Rodillo tandem	hm	1.00		0.0025	170.00	0.43
Cargador frontal	hm	1.00		0.0025	160.00	0.40
						7.06



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con respecto a las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica cationica:
 - ✓ La estabilidad en la mezcla fue de 5129 Lb, con una pérdida de estabilidad de 9.9, siendo los resultados aceptables, debido a que la estabilidad mínima es de 500 Lb con una pérdida máxima de 50
 - ✓ En cuanto a durabilidad e impermeabilidad, al ser una mezcla densa, con un porcentaje de vacíos de 2.6%, lo cual está dentro del rango de entre 2 y 8% aceptable según la normativa; podemos decir que la mezcla será durable e impermeable por un contenido aceptable de emulsión de 7.5%
 - ✓ La trabajabilidad se verificó en el laboratorio, a través de los sucesivos pasos del diseño Marshall, llegando a una trabajabilidad aceptable con un 7.5% de emulsión
 - ✓ La flexibilidad de la mezcla, que está relacionado con la granulometría, se puede decir que será aceptable, ya que se encuentra dentro de los límites de una MDF-2, a excepción del límite en la malla #200, pero no presenta problemas en la estabilidad.



- ✓ La resistencia a la fatiga, está relacionado con la viscosidad, el porcentaje y la relación de vacíos. Siendo el porcentaje de vacíos aceptable en cuanto a los parámetros dentro de la normativa, la viscosidad es una propiedad de calidad dentro de la fabricación de la emulsión asfáltica, y el diseño Marshall nos dicta un porcentaje óptimo, podemos esperar un buen desempeño a la fatiga. Además esta propiedad es vista ante la presencia de tráfico, por lo que es difícil de determinar dentro del laboratorio
- ✓ Resistencia al deslizamiento, ligado a la superficie que queda luego de la compactación de la mezcla. El agregado presenta angularidad en su mayor proporción, no se presentó exudación del asfalto, y no se pudo realizar la prueba de pulimento, pero se espera un desempeño favorable ante tráfico.
- Con respecto a la factibilidad económica, a través de análisis de precios unitarios para la colocación de carpeta asfáltica con un espesor de 2" cm. Se comparó el costo entre una carpeta asfáltica en caliente y una en frío, elaborada con emulsión asfáltica cationica; la carpeta asfáltica en frío demuestra ser mas barata que la en caliente en 0.63 soles por metro cuadrado.
- Las propiedades de los materiales que se pudieron evaluar y obtener resultados, fueron las siguientes:
 - ✓ Desgaste de los Ángeles, 14.6%, siendo el máximo permitido 25% en rodadura según norma EG-2013.



- ✓ Partículas fracturadas mecánicamente, 78%, estando en el rango aceptable entre 85/70 para carreteras de alto tránsito.
- ✓ Índice de plasticidad no presentó en el agregado grueso.
- ✓ Equivalente de arena, 73.37%, siendo el mínimo de 50%
- ✓ Impurezas en el agregado grueso (carbón lignito) 0.07%, siendo inferior al 0.5% permitido.

Podemos concluir que las propiedades de los agregados cumplen con la normativa.

- La utilización de mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica es una gran alternativa para la pavimentación y repavimentación de vías, y permite optimizar recursos con las siguientes ventajas:
 - ✓ Reducción de costos, comparado con mezclas asfálticas en caliente.
 - ✓ Tiene una rápida aplicación lo cual permite ejecutar los proyectos en menor tiempo.
 - ✓ Reducción del impacto ambiental, atenuando los efectos en el entorno y en los trabajadores.

Por lo tanto podemos concluir que la hipótesis es aceptada.



5.2 RECOMENDACIONES

- Construir empleando los materiales que cumplan con las propiedades expuestas en las normas, aunque en muchos lugares se realizan investigaciones basadas en la técnica de estabilización con emulsión asfáltica, por ser un procedimiento muy aceptado para el mejoramiento de agregados que son deficientes.
- Emplear emulsiones asfálticas cationicas como una alternativa para reducir los costos en pavimentaciones, a través de las mezclas asfálticas en frío, sin comprometer la estabilidad de la carpeta asfáltica.
- Conocer los tipos y aplicaciones de las emulsiones que se encuentren en el mercado, porque cada día se están investigando nuevas formulaciones y usos que dan otras cualidades técnicas a este tipo de productos.
- Usar los materiales estudiados con emulsión asfáltica garantiza seguridad y rendimiento técnico y económico aceptable, en que será mayor mientras más cerca de la cantera se encuentre la obra.
- Finalmente se recomienda al MTC verificar la norma y adecuar los laboratorios para poder realizar todos los estudios, ya que varios de éstos no se pudieron realizar por la falta misma de instrumentación en sus laboratorios.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPHALT INSTITUTE. (s.f.). Manual Serie N° 14, MS 14. Lexington.
- ASPHALT INSTITUTE; AEMA. (2001). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS N° 19S. Lexington.
- AVILA, A. (2004). Mecánica de Suelos. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- BRACHO, C. L. (2005). Cuaderno FIRP S366C Emulsiones asfálticas. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- CARRASCO FLORES, D. O. (2004). Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones Tibias. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura.
- CORREDOR, G. (2005). Apuntes de Pavimentos (2005 ed., Vol. Volumen 2; Mezclas Asfálticas Materiales y Diseño). Venezuela.
- GUEVARA PALMA, M. R., MÉNDEZ DELGADO, H. A., & PIMENTEL GOMEZ, J. C. (2010). Tesis "Diseño De Mezclas Asfálticas Densas En Frio Basado En El Metodo Marshall Modificado de Universidad de Illinois". El Salvador: Universidad De El Salvador, Facultad Multidisciplinaria De <http://www.emulsionesasfalticas.com/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.emulsionesasfalticas.com/carpetasenfrio.htm>.
- JUÁREZ BADILLO, E., & RICO RODRÍGUEZ, A. (1986). Mecánica de suelos, tomos I. México: Limusa.



MERCADO, R., BRACHO, C., & AVENDAÑO, J. (2008). Cuaderno FIRP S365-A; Emulsiones Asfálticas, Usos- Rompimientos. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

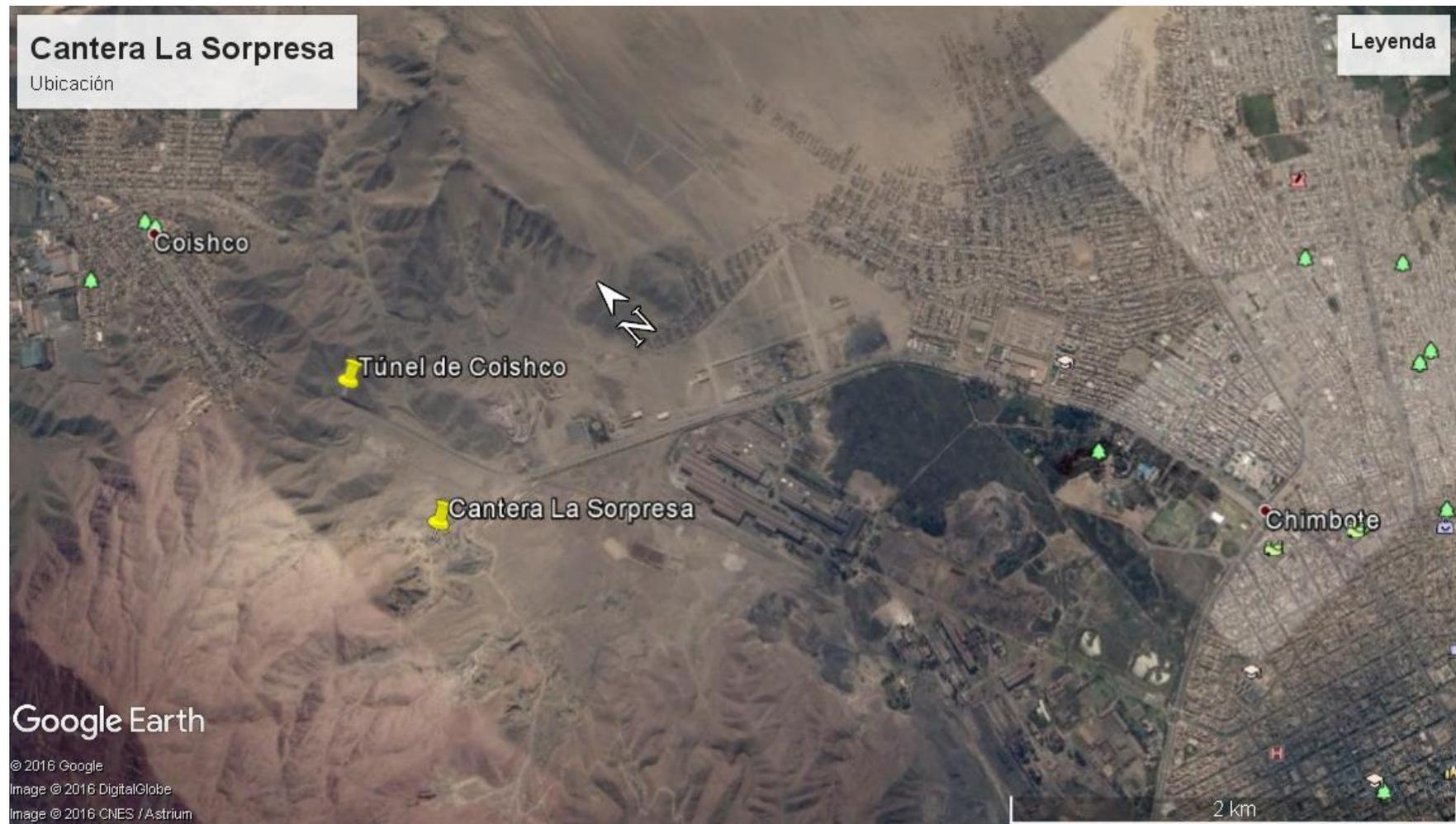
MINAYA GONZALES, S., & ORDÓÑEZ HUAMAN, A. (2001). Manual de Laboratorio, Ensayos para Pavimentos Volumen I. Lima.

MANUALES DE CARRETERAS DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES: MANUAL DE CARRETERAS “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” (EG-2013) Y EL MANUAL DE CARRETERAS “Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos”

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES;. (s.f.). Método Marshall. En Curso de Capacitación en Materiales de Pruebas de Laboratorio para Obras de Vias Terrestres. México.

Anexo 1

Ubicación de la Cantera La Sorpresa y La Cumbre



Cantera La Cumbre

Leyenda

- Cantera La Cumbre
- Vesique

Vesique

Cantera La Cumbre

Google Earth

Image © 2016 CNES / Astrium

© 2016 Google

Image © 2016 DigitalGlobe

1 km



Anexo 4

Tabla 424-02

Gradaciones para mezclas densas en frío

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Alterno	MDF-1	MDF-2	MDF-3
7,5mm	1 1/2"	100	-	-
25,0 mm	1"	80-95	100	-
19,0 mm	3/4"	-	80-95	100
12,5 mm	1/2"	62-77	-	-
9,5 mm	3/8"	-	60-75	-
4,75 mm	N.º 4	45-60	47-62	50-65
2,36 mm	N.º 8	35-50	35-50	35-50
300 µm	N.º 50	13-23	13-23	13-23
75 µm	N.º 200	3-8	3-8	3-8

Anexo 5

Tabla 424-03

Tipos de mezcla en función del tipo y del espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de Mezcla
Rodadura	50-75	MDF-2
	40-50	MDF-3
Intermedia	≥50	MDF-2
Base	≥75	MDF-1
Bacheo	50-75	MDF-2
	≥75	MDF-1

Anexo 6

Tabla F-3

Criterios para el diseño de mezcla de agregados

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72°F) Mezclas para pavimentos	2224 (500)	-
Porcentaje de Perdida de estabilidad Después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Anexo 7

Análisis de Laboratorio: Carbon Lignito en Agregado Grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: MIGUEL ANGEL OTINIANO ARRISBAPLATA

EXPEDIENTE: 15-3723/LQU15-1 233

OBRA/ PROYECTO: "TESIS"

UBIICACIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

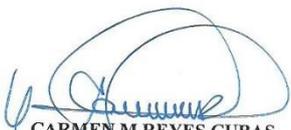
TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA DE ½"

CANTERA:

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 30- 10 -15

ANÁLISIS DE :	CARBÓN Y LIGNITO MTC E 215 %
TIPO DE MATERIAL : PIEDRA CHANCADA DE ½" CANTERA "SAN PEDRITO" CHIMBOTE	0,07

Lima, 03 de Noviembre del 2 015


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC. ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI


ROSA V. ALTAMIRANO MEDINA
MS. ING. JEFA DEL LABORATORIO QUÍMICO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295


ABET

Accreditation Board for engineering and Technology


ABET

Engineering
Technology
Accreditation
Commission