

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE EMULSIONES
IMPRIMANTES PARA UN DETERMINADO TIPO DE SUELO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ROY GUSTAVO MONTES CONDORI

Lima- Perú

2013

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

A mis padres Cirilo y Feliciano, porque me dieron la vida, porque me dieron un hogar, la oportunidad de estudiar por creer en mí, por brindarme sus consejos, esfuerzo y su apoyo incondicional y todo su amor, a mi hermana Pamela que me dio su ejemplo de dedicación estudio y esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Fueron muchas las personas que me brindaron parte de su tiempo, para poder desarrollar esta investigación,

Debo brindar mis agradecimientos a mi asesor de tesis el ing. Scipion Pinella Eddy Teofilo, quien fue parte fundamental para realizar este estudio, por su instrucción, atención, apoyo y tiempo, y en especial por sus conocimientos que me supo transmitir.

A la Empresa CONCAR S.A, en especial al Ingeniero Walter Obando, quien dedicó parte de su tiempo, constante apoyo e intereses en la realización de este trabajo, y sobre todo por su confianza depositada en el equipo IIFIC-UNI, a la Ing. Lucia Saez por brindarme sus conocimientos, apoyo y paciencia, a los ingenieros y técnicos de la planta de emulsión asfáltica, por brindarme una estadía grata y apoyo durante los trabajos de laboratorio en la ciudad de Nazca.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI), al Dr. Víctor Sánchez Moya y en especial al Dr. Teófilo Vargas, por sus consejos continuos, por mostrar interés, preocupación en el avance de la investigación y poder brindarme la oportunidad de trabajar en forma conjunta con este grupo maravilloso.

A mis familiares y compañeros, por sus palabras de aliento y por su preocupación en el avance de la investigación.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	V
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE GRÁFICAS	IX
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	X
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I: EMULSIONES ASFÁLTICAS	
1.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS CONVENCIONALES	1
1.1.1 Historia	2
1.1.2 Descripción	2
1.1.3 Surfactantes	3
1.1.3.1 <i>Surfactantes catiónicos</i>	3
1.1.3.2 <i>Surfactante aniónicos</i>	3
1.1.3.3 <i>Surfactantes no iónicos</i>	4
1.1.3.4 <i>Surfactantes anfóteros</i>	4
1.1.4 Clasificación	4
1.1.4.1 <i>Emulsiones Aniónicas</i>	4
1.1.4.2 <i>Emulsiones Catiónicas</i>	4
1.1.5 Nomenclatura	6
1.1.5.1 <i>Emulsiones de rotura rápida(RS)</i>	7
1.1.5.2 <i>Emulsiones de rotura media(MS)</i>	7
1.1.5.3 <i>Emulsiones de rotura lenta(SS)</i>	7
1.1.5.4 <i>Emulsiones modificadas com polimeros(Polymer modified grades)</i>	8
1.1.5.5 <i>Emulsiones HF(High Float = de alta flotación)</i>	8

1.1.6 Rotura	9
1.1.7 Pruebas de calidad	10
1.1.7.1 Determinación del pH	10
1.1.7.2 Destilación	11
1.1.7.3 Residuo por evaporación	12
1.1.7.4 Asentamiento	12
1.1.7.5 Carga eléctrica	13
1.1.7.6 Viscosidad	14
1.1.7.7 Adhesividad	14
1.1.7.8 Índice de rotura	15
1.1.7.9 Penetración	16
1.1.7.10 Tamizado	16
1.1.8 Almacenamiento	17
1.1.9 Emulsiones convencionales producidas en el Perú	18
1.1.10 Ventajas en su uso	18
1.1.11 Aplicación	19
1.1.11.1 Riegos de adherencia	20
1.1.11.2 Riegos de imprimación	21
1.1.11.3 Riegos de curado	21
1.1.11.4 Riegos antipolvo	21
1.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS DE IMPRIMACIÓN	22
1.2.1 Tipos según el país	23
1.2.1.1 EE.UU	23
1.2.1.2 Brasil	24
1.2.1.3 Argentina	25
1.2.1.4 Chile	26

CAPÍTULO II: IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

2.1 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN CAMPO	28
2.1.1 Condiciones generales de aplicación	29
2.1.2 Dotación de los materiales	29
2.1.3 Materiales de para su aplicación	29
2.2 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN LABORATORIO	27
2.2.1 Metodología I (ESPAÑA)	30
2.2.2 Metodología II (EE.UU)	30
2.2.3 Metodología III (BRASIL)	30

CAPÍTULO III: ESTUDIO EN LABORATORIO

3.1 ESTUDIO DEL SUELO	32
3.1.1 Ensayo de análisis granulométrico de agregados finos	32
3.1.2 Ensayo de determinación de los límites líquidos	33
3.1.2.1 <i>Límite líquido</i>	34
3.1.2.2 <i>Límite plástico</i>	34
3.1.3 Equivalente de arena	34
3.1.4 Ensayo de compactación	37
3.2 FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE EMULSIONES DE IMPRIMACIÓN	38
3.2.1 FORMULACIÓN	38
3.2.1.1 <i>Formulación de emulsiones AEP(Asphalt Emulsión Prime)</i>	38
3.2.1.2 <i>Formulación de emulsiones de imprimación tipo EI</i>	40
3.2.2 DESARROLLO	41
3.2.2.1 <i>Preparación de la solución jabonosa</i>	42
3.2.2.2 <i>Preparación del asfalto</i>	42
3.2.2.3 <i>Emulsificación</i>	42

3.3 ENSAYOS DE CALIDAD A LAS EMULSIONES DE IMPRIMACIÓN	45
3.3.1 Ensayos a las emulsiones tipo AEP	46
2.2.3 Ensayos a las emulsiones EI	47
3.3 ELABORACIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA	50
3.4 IMPRIMACIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA	51
3.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	53
3.5.1 Imprimación con emulsiones del tipo AEP	53
3.5.1.1 <i>Resultados</i>	53
3.5.1.2 <i>Análisis</i>	54
3.5.2 Imprimación con emulsiones del tipo EI	55
3.5.2.1 <i>Resultados</i>	55
3.5.2.2 <i>Análisis</i>	58
3.5.3 Análisis general	59
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1 CONCLUSIONES	61
4.2 RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFIA	64
ANEXOS	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la empresa CONCAR y tuvo como finalidad la evaluación del desempeño de emulsiones asfálticas imprimantes, en un tipo de suelo obtenido del Km 46+900 de la Red Vial 1-Cusco.

Fueron seis las emulsiones asfálticas imprimantes que se formularon y desarrollaron en mini-planta, bajo normativa ASTM y normativa chilena (NCh), paralelamente se realizaron estudios al suelo que permitió definir sus características y nomenclatura correspondiente.

Para lograr evaluar el desempeño de las emulsiones, se utilizaron moldes Proctor en los cuales el suelo con nomenclatura SP-SM fue compactado hasta una determinada densidad, a los que se los denominó cuerpos de prueba. Posteriormente estos cuerpos de prueba fueron imprimados con las emulsiones asfálticas, fue en este proceso que se determinó características importantes de cada emulsión, como la compatibilidad y penetración en el tipo de suelo.

Fueron dos las emulsiones que presentaron los mejores resultados, la primera emulsión formulada con normativa ASTM, con un 58% residuo asfáltico, llegó a presentar una penetración de 7.3 mm al ser diluida posteriormente en agua, mientras que la segunda formulada con un 20% de residuo asfáltico bajo normativa chilena, presentó el mejor resultado de 9.1 mm de penetración con una excelente compatibilidad del material.

El estudio en laboratorio, permitió determinar la mejor emulsión, del total de emulsiones formuladas para el suelo SP-SM. Las características y propiedades de ésta, permitirán a futuro poder formular otras emulsiones y determinar así la mejor emulsión para el tipo de suelo.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1: Escala de tiempo para identificar el tipo de emulsión	13
Cuadro 1.2 Tipo de Emulsiones Asfálticas producidas en el Perú	18
Cuadro 1.3 Tipo de ligantes utilizados por agencias de transporte americanas para Imprimación	22
Cuadro 1.4 Especificaciones técnicas de las emulsiones de imprimación en Brasil	25
Cuadro 1.5: Especificaciones técnicas de las emulsiones de imprimación-Argentina	26
Cuadro 1.6: Especificación técnica de la emulsión de imprimación Mobil E-Prime	27
Cuadro 3.1: Análisis granulométrico del suelo por tamizado	33
Cuadro 3.2: Límite líquido del suelo	34
Cuadro 3.3: Equivalente de arena	35
Cuadro 3.4: Clasificación del suelo	35
Cuadro 3.5: Especificaciones técnicas para uso del tipo base granular	36
Cuadro 3.6: Métodos de Proctor modificado	37
Cuadro 3.7: Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad	38
Cuadro 3.8: Formulación de emulsiones del tipo AEP	39
Cuadro: 3.9 Formulación de las emulsiones del tipo EI	40
Cuadro 3.10: Informe de ensayo emulsión AEP-I	46
Cuadro 3.11: Informe de ensayo emulsión AEP-II	47
Cuadro 3.12: Informe de ensayo emulsión EI-I	48

Cuadro 3.13: Informe de ensayo emulsión EI-II	48
Cuadro 3.14: Informe de ensayo emulsión EI-III	49
Cuadro 3.15: Informe de ensayo emulsión EI-IV	49
Cuadro 3.16: Penetración de la emulsión AEP-I (50/50)	53
Cuadro 3.17: Penetración de la emulsión AEP-II (50/50)	54
Cuadro 3.18: Penetración de la emulsión EI-I	56
Cuadro 3.19: Penetración de la emulsión EI-II	56
Cuadro 3.20: Penetración de la emulsión EI-III	57
Cuadro 3.21: Penetración de la emulsión EI-IV	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de estructura de una emulsión aniónica	5
Figura 1.2: Sales de Amonio Cuaternario	6
Figura 1.3: Esquema de estructura de una emulsión catiónica	6
Figura 1.4: Emulsión catiónica de rotura rápida de baja viscosidad	9
Figura 1.5 Emulsión aniónica de Rotura lenta de alta viscosidad, elaborado con un asfalto duro (penetración 100-200)	9
Figura 1.6: Etapas de la emulsión Asfáltica	10
Figura 1.7 Equipo para medir el pH de la emulsión	11
Figura 1.8: Ensayo del residuo por Destilación	11
Figura 1.9: Equipos para determinar el residuo por evaporación de una emulsión asfáltica	12
Figura 1.10: Equipos para determinación de (A) Asentamiento, (B) Carga eléctrica de una emulsión asfáltica	13
Figura 1.11: Medición de la Viscosidad Saybolt Furol	14
Figura 1.12: Prueba de adhesividad en una emulsión asfáltica en sus distintas fases: vertido de la emulsión, inclusión del agregado y vertido final	15
Figura 1.13: Ensayo para determinar el índice de Rotura	15
Figura 1.14: Ensayo de Penetración	16
Figura 1.15: Ensayo de Tamizado	16
Figura 1.16: Aplicación de riego de liga	20
Figura 3.1: Mini-planta – CONCAR - Nasca	42

Figura 3.2 Obtención de la emulsión de imprimación AEP	43
Figura 3.3: Esquemas para las emulsiones del tipo AEP	43
Figura 3.4: Desarrollo de emulsiones del tipo EI	44
Figura 3.5: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol a 25°C	45
Figura 3.6: Elaboración de los cuerpos de prueba	51
Figura 3.7: Cuerpo de prueba imprimado con emulsión EI-IV	51
Figura 3.8: Esquema de imprimación asfáltica	52

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Curva granulométrica y especificaciones de la gradación "D"	36
Gráfica 3.2: Gráfica del ensayo Proctor modificado	37
Gráfica 3.3: Penetración de las emulsiones AEP	55
Gráfica 3.4: Penetración de las emulsiones EI-I Y EI-II	58
Gráfica: 3.5: Penetración de las emulsiones	59
Gráfica 3.6: Penetración según el tipo de emulsión	60

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

a.C: Antes de Cristo

°C: Grados Centrigados

Gr: Gramos

Gr/cm³.: Gramos sobre centímetros cúbicos

Hrs: Horas

lt: Litros

m²: Metros cuadrados

m³: Metros cúbicos

Ma: Miliamperios

Máx: Máximo

Mín.: Mínimo

Mm.: Minutos

pH: Potencial Hidrógeno

psi: Libra por Pulgada Cuadrada

Ssf: Segundos Saybolt Furol

TM: Tamaño máximo

TMN: Tamaño Máximo nominal

Vs: Versus

SIGLAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT: Asociación Brasileña de Normas Técnicas

AEMA: Asphalt Emulsión Manufacturers Association

AEP: Asphalt Emulsión Prime (Emulsión asfáltica de Imprimación)

ASFALCHILE: Asfaltos Chile

ASTM: American Society for Testing and Materials

BITUPER: Bitúmenes del Perú

CFHD: Central Federal Lands Highway Division (Central Federal de tierras y División de Carreteras)

CI: Emulsión Catiónicas de Imprimación

CILA: Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto

CMS: Cationic Medium Setting

CONCAR: Concesiones de Carreteras

CQS: Cationic Quick setting (Emulsión catiónica de rotura media)

CRS: Cationic rapid setting (Emulsión catiónica de rotura controlada)

CSS: Cationic Slow Setting (Emulsión catiónica de rotura lenta)

DNIT: Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes

EAI: Emulsión Aniónica de Imprimación

EAL: Emulsión Aniónica de rotura Lenta

ECl: Emulsión Catiónica de Imprimación

ECL: Emulsión Catiónica de rotura Lenta

EG: Especificaciones Generales

EM: Ensayo de Materiales

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

FHWA: Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras)

FIC: Facultad de Ingeniería Civil

HF: High Float (Alta flotación)

IIFIC: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil

IRAM: Instituto de Racionalización Argentino de Materiales

MC: Medium Curing (Asfaltos diluidos de curdo medio)

MS: Medium Setting (Emulsión aniónica de rotura lenta)

MS: Manual Series

MTC: Ministerio de Transportes

NCh: Norma Chilena

- NLT: Normas del laboratorio de Transportes
- NTP: Norma Técnica de Transporte
- NBR: Normas Brasileña
- NP: No Plástico
- OCAPE: Ohio Center for Asphalt Paviment Education (Educación sobre Pavimento Asfáltico del centro de Ohio)
- PEN: Cemento Asfáltico de petróleo
- PEP: Penetration Emulsion Prime (Penetración de la Emulsión de Imprimación)
- PETROPERÚ: Petroleos del Perú
- PETROBRAS: Petroleos de Brasil
- PM: Polymer modified (modificada con polímeros)
- QS: Quick Setting (Emulsión aniónica de rotura controlada)
- RC: Rapid curing (Emulsión aniónica de rotura rápida)
- REPSOL: Refinería de Petróleo de Escombreras Oil
- RS: Rapid setting
- S.A: Sociedad Anónima
- SBR: Elastómeros termoplástico de etileno-butadieno
- SBS: Elastómeros termoplástico de estireno-butadieno-estireno
- SC: Slow curing (Asfaltos diluidos de curado lento)
- SS: Slow Setting (Emulsión aniónica de rotura lenta)
- SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos
- TDM: Tecnología de Materiales
- UNI: Universidad Nacional de Ingeniería
- USACE: United States Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos)
- USFS: United States Forest Service (Servicio Forestal de los Estados Unidos)
- VOCs : Cuerpos Orgánicos Volátiles

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, se inició para dar respuesta, a los constantes problemas que se originan cuando se realiza el servicio de imprimación asfáltica, con emulsiones asfálticas, problemas tales como, falta de penetración, la escasa adherencia, y lo limitado que es la impermeabilización del suelo.

Se puede manifestar que el tema es de interés internacional, existiendo numerosos avances en países como Estados Unidos, España, Brasil, Argentina y Chile. En cada uno de estos países se hace uso de las denominadas emulsiones de imprimación, que surgieron para satisfacer las exigentes demandas del mercado. Estas emulsiones se desarrollan de acuerdo a especificaciones técnicas especiales, que han sido incluidas en las normativas de cada país para garantizar la calidad del servicio de imprimación.

Paralelamente al estudio de las emulsiones de imprimación, se han venido desarrollando diversas metodologías en laboratorio, para poner de manifiesto la capacidad de penetración de estas emulsiones.

Por tal motivo se decidió formular y desarrollar emulsiones imprimantes, bajo distintas normativas, y evaluar posteriormente el desempeño de éstas, en un determinado tipo de suelo.

Mediante la metodología de imprimación utilizada, se determinó las características y propiedades de la emulsión de mejor desempeño. La metodología consistió en compactar el suelo en varios moldes Proctor, para luego ser imprimados con las distintas emulsiones, y finalmente determinar la compatibilidad y penetración de cada una.

CAPÍTULO I: EMULSIONES ASFÁLTICAS

1.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS CONVENCIONALES

1.1.1 Historia

La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 a.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

Las emulsiones asfálticas aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy diversos. A principios de 1900, en 1905 se empleó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras en la ciudad de Nueva York; la emulsión asfáltica fue del tipo aniónica y se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

En 1914 el estado Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones aniónicas. En este mismo año en Hamburgo en Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión estabilizada la cual reaccionaba activamente con la arcilla del substrato pétreo.

Las emulsiones Aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925. En la fabricación de estas se aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para que actuaran como el agente emulsificante en el momento de agregar agua con soda caustica al sistema y someterlo a una vigorosa agitación.

Las emulsiones Asfálticas Catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso-activos en el mercado, los cuales tienen, adicionalmente otros usos como en el campo de las pinturas, en la industria petrolera, en la industria textil. Al principio tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y sello. Al reconocerse las ventajas de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la

búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta.

En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril del petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.

Los países de mayor producción de emulsiones asfálticas son, en orden jerárquico: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre estos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial de la emulsión asfáltica.

En general el uso de las emulsiones asfálticas y de los asfaltos en el mundo, en sí se ha masificado bastante debido a su versatilidad ya que ha pasado a ser parte de la vida cotidiana en la pavimentación de las calles en las ciudades y del uso de las emulsiones como impermeabilizantes y como imprimantes.

1.1.2 Descripción

Se denomina emulsión a un sistema compuesto de dos líquidos inmiscibles de los que uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas, denominando al primero como fase dispersa y al segundo como fase continua.

En las emulsiones asfálticas, las dos fases en presencia son agua y asfalto, consiste de una dispersión de finas gotas de cemento asfáltico, estabilizadas en una fase acuosa, por la presencia de un agente emulsificante, obteniéndose un producto relativamente fluido. Pueden ser usadas sin adición de calor o de solventes, además, pueden ser bombeadas, almacenadas y aplicadas a temperaturas mucho más bajas que con otro tipo de utilización del asfalto.

Las emulsiones como ya hemos mencionado están compuestas por cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante en las proporciones aproximadas de:

- cemento asfáltico: 50% a 63%
- Agua: 35% a 50%
- Agente emulsificante: 0,5% a 2 %

Estas proporciones determinan las características que presentará la emulsión. En esta investigación se realizará una variación de estos componentes, para su evaluación correspondiente.

1.1.3 Surfactantes

Los surfactantes comúnmente llamados emulsificantes en la industria de la emulsión cumplen la función de vencer la enorme tensión interfacial entre el asfalto y el agua, permitiendo que el asfalto pueda ser fácilmente dispersado en la fase acuosa, al momento de elaboración de la emulsión. Además, favorecen la formación de la doble capa eléctrica alrededor de las gotas de asfalto, que impide que éstas puedan unirse y por ende desestabilizar la emulsión ya formada. En el caso de emulsiones asfálticas para mezclas, tanto el contenido de emulsificante como el pH de la solución acuosa, tienen gran influencia en la propiedad de adherencia de las gotas de asfalto en los áridos.

Se dispone de diferentes tipos de surfactantes:

1.1.3.1 Surfactantes catiónicos

Las emulsiones preparadas con estos surfactantes presentan varias características importantes: son estables, rompen al contacto con la superficie, fijándose allí la fase orgánica dispersada, y la película formada se adhiere fuertemente a la superficie y es relativamente insensible al agua. Por estas razones, este tipo de surfactante es el más utilizado para carreteras, por sus propiedades que mejoran la adhesión del asfalto sobre las rocas, y de adaptarse a cualquier material rocoso.

1.1.3.2 Surfactantes aniónicos

Son sulfonatos de lignina o casi todos los tipos conocidos de derivados del petróleo como: naftenatos, sulfonatos, cresilatos y sales de sodio de ácidos grasos. Dentro de éstos, los más importantes suelen ser los naftenatos de sodio. Las moléculas de estos jabones, de fórmula general $R-COO-Na$ (o $RSO_3^- Na^+$) se ionizan en agua, para dar lugar a un cierto número de cationes Na^+ , igual al número de aniones $R-COO^-$; así, variando la intensidad del carácter lipofílico y la densidad de carga negativa, se puede obtener una amplia gama de productos emulsificantes, capaz de producir la emulsión con las características adecuadas de velocidad de rotura en presencia del material al cual se debe agregar la

emulsión. Los sulfonatos de lignina que se obtienen en la industria de la pulpa y papel, como sales amoniacales de sodio o de calcio, pueden ser utilizados en la preparación de emulsiones de sedimentación lenta. Se menciona el uso de licores de desecho (sulfitos) en el reacondicionamiento de superficies de rutas asfaltadas. Entre otros emulsificantes del tipo aniónico se tienen: jabones de cortes de petróleo, residuos de la destilación de ácidos grasos, residuos de la refinación de aceites de semillas.

1.1.3.3 Surfactantes no-iónicos

Estos surfactantes no producen iones en solución acuosa, lo cual se debe a la presencia de grupos hidrofílicos del tipo alcohol, fenol, éter o amida, y por tanto son compatibles con cualquier otro tipo. Como consecuencia de que no existe una interacción iónica entre el emulsificante y el material pétreo, su utilización puede ocasionar una pobre adhesión entre el asfalto emulsificado y el mineral, a menos que el emulsificante se utilice en un medio ácido o básico.

1.1.3.4 Surfactantes anfóteros

Presentan dos grupos funcionales, dependiendo del pH se comportan como aniónicos o catiónicos, favoreciendo una u otra de las posibles disociaciones. En pH ácido se comportan como catiónicos. En pH básico, como aniónicos.

Debido al carácter dual de este tipo de emulsificantes, resultan ser excelentes emulsificadores del asfalto. Este tipo de emulsificante es compatible con los otros; sin embargo, presenta la desventaja de que su costo es bastante elevado.

1.1.4 Clasificación

De acuerdo a los emulsificantes usados se obtienen dos clasificaciones de emulsiones asfálticas.

1.1.4.1 Emulsiones Aniónica

Como ya se mencionó este tipo de emulsión está cargado negativamente por ende trata de unirse con elementos que estén cargados positivamente.

Los emulgentes empleados en la fabricación de las emulsiones aniónicas son normalmente oleatos de sodio o potasio (jabones de sodio) del tipo $R-COO-Na^+$ (ácidos grasos).

El radical R queda sumergido en glóbulos de cemento asfáltico y el grupo COO- unido a él queda en la fase acuosa donde se disocian los cationes Na⁺, ver figura 1.1.

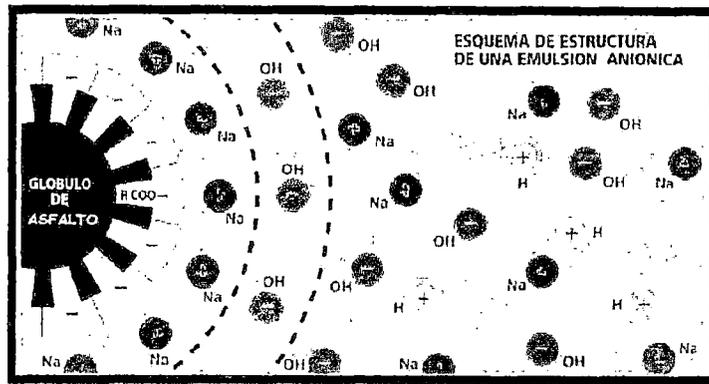


Figura 1.1: Esquema de estructura de una emulsión aniónica.

Las moléculas del agente emulsionante cubren completamente el glóbulo de cemento asfáltico, quedando tapizado de radicales negativos y actúan como si estuvieran cargados negativamente.

Esta carga negativa impide el contacto directo de los distintos glóbulos de asfalto, por lo que tienden a mantenerse separados y mantienen estable la emulsión. En la práctica, para lograr una protección eficaz del glóbulo de asfalto se emplea la cantidad de emulgente necesaria para lograr que sus moléculas tapicen totalmente su superficie y la situación del glóbulo de asfalto en la emulsión terminada es la indicada en la figura anterior.

A causa de su carga negativa, los glóbulos de cemento asfáltico de una emulsión aniónica tienen especial afinidad por las superficies iónicamente positivas como son los áridos tipos calizas (CaCO₃), dolomitas y basaltos.

1.1.4.2 Emulsiones Catiónicas

Estas son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que representan afinidad por los grupos cargados negativamente y por ende contrariamente a las emulsiones aniónicas que tratamos anteriormente.

Los emulgentes ocupados para la obtención de estas emulsiones catiónicas son normalmente sales de amonio cuaternario como se muestra en la Figura 1.2.

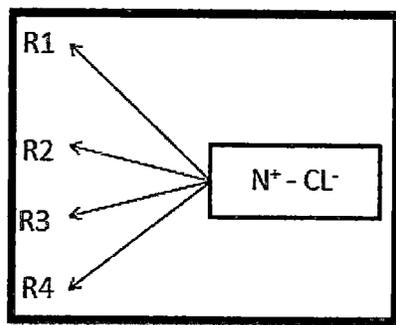


Figura 1.2: Sales de amonio cuaternario.

También pueden ser usadas la amina grasa (diamina, amido-mina, imidazolina). Los radicales R1, R2, R3, R4 se sumergen en los glóbulos de asfalto y el nitrógeno queda en la fase acuosa donde se disocian los aniones Cl⁻, que es uno de los muchos que se pueden emplear en la práctica para la elaboración de los diversos tipos de emulsiones, ver Figura 1.3.

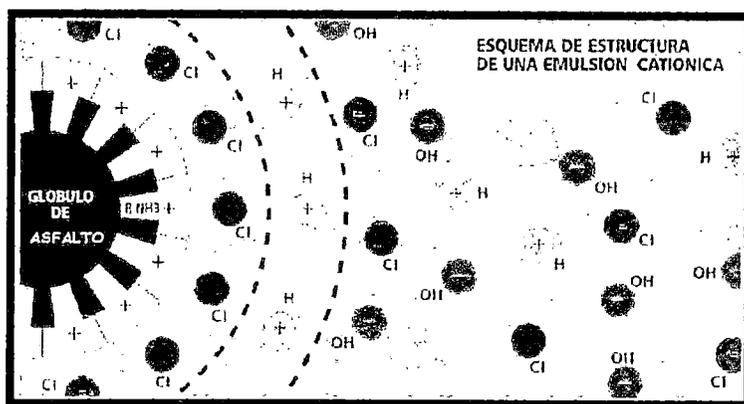


Figura 1.3: Esquema de estructura de una emulsión catiónica.

1.1.5 Nomenclatura

Si bien las emulsiones asfálticas son clasificadas generalmente de acuerdo al tipo de surfactante utilizado (según la carga eléctrica que rodea la partícula de asfalto), también se considera una característica importante al caracterizar las emulsiones: la tasa de sedimentación, que cuantifica la rapidez con la cual coalescen las partículas suspendidas de asfalto o cuán rápido se rompe la emulsión por evaporación del agua, y que es afectada por el tipo y concentración

de emulsificante y las condiciones atmosféricas. En tal sentido para dar nombre a las emulsiones se emplean los términos:

- RS (Rapid Setting- rotura rápida)
- MS (Medium Setting- rotura media)
- SS (Slow Setting- rotura lenta)
- PM (Polymer modified-modificada con polímeros)
- HF (High float- alta flotación)

1.1.5.1 Emulsiones de rotura rápida (RS)

Se utilizan principalmente en tratamiento de superficies. Estas emulsiones interactúan rápidamente con el agregado, y revierten la emulsión a asfalto. Este tipo de emulsiones produce películas resistentes y algunos grados (RS-2 y CRS-2) tienen altas viscosidades, para prevenir el escurrimiento, y que una vez formada la capa, ésta no se desprege con facilidad. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como en bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales.

1.1.5.2 Emulsiones de rotura media (MS)

Son diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente, y también para el tratamiento de superficies. Estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, y por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta y la mezcla resultante, transportada al lugar de la pavimentación. Las emulsiones MS han sido usadas con éxito en mezclas de emulsiones de grado abierto, en reciclado de pavimentos y en mezclas en frío en plantas centrales.

1.1.5.3 Emulsiones de rotura lenta (SS)

Son diseñadas para un tiempo máximo de mezcla con los agregados. Su largo tiempo para la manipulación asegura buen cubrimiento con grados densos, de agregados con un alto contenido de finos. Su aplicación se extiende, además de la pavimentación, a otros usos industriales. Para tales propósitos, la viscosidad de las emulsiones es baja y puede ser reducida aún más con la adición de agua. Si se desea aumentar la velocidad de rotura, puede ser añadido un pequeño porcentaje de cemento Portland o cal hidratada, durante la producción de la mezcla. Otras aplicaciones de estas emulsiones incluyen bases de grado denso

y bases para estabilización. Una aplicación diferente a la pavimentación ha sido en el tratamiento de suelos que han sido sembrados y fertilizados. El asfalto forma una película delgada que retiene las semillas en su lugar, absorbe y conserva el calor solar requerido para la germinación.

1.1.5.4 Emulsiones modificadas con polímeros (Polymer Modified Grades)

Son superiores a las de grado convencional, debido a la adición de un polímero. La base asfáltica en estas emulsiones es más adhesiva y elástica que los cementos asfálticos convencionales. Se obtienen buenos resultados en tratamientos de superficies con menos pérdida de agregados, y mejora la resistencia al corrimiento y al agrietamiento a bajas temperaturas.

1.1.5.5 Emulsiones HF (High Float = de alta flotación)

Tienen una calidad específica que permite una densa película asfáltica sobre el agregado, sin riesgo de escurrimiento.

Esta película gruesa asegura un mejor cubrimiento del agregado y baja susceptibilidad a la humedad. Las emulsiones HF crean una estructura de gel en el asfalto residual, que reduce la susceptibilidad a la temperatura del producto final. Estas presentan una espesa película de asfalto para mantener alta rigidez en un clima caliente y menor rigidez (más elástico) en climas fríos. Las HF son buenas para sellos baratos (bacheos) donde el cubrimiento del agregado es completo. En las emulsiones HF modificadas con polímeros, el rendimiento es incrementado. El asfalto residual de estas emulsiones provee una mezcla con alta fuerza adherente, además de una buena capacidad para soportar cargas al ser el pavimento un poco más flexible.

Con respecto a la nomenclatura para la identificación de las emulsiones, se utiliza el prefijo C en las emulsiones de tipo catiónicas, por ejemplo CSS y CRS representan emulsiones catiónicas de sedimentación lenta y rápida, respectivamente.

Cuando no aparece la letra C se asume que la emulsión es del tipo aniónica o no-iónica. Este sistema también incluye la clasificación de la emulsión de acuerdo al grado de viscosidad que posea. De esta manera, se utilizan los sufijos 1 y 2 para designar a emulsiones cuyas viscosidades Saybolt Furol, a 122

°F (50°C), se encuentran en los rangos 20-100 s y 100-400 s, respectivamente. En la figura 1.4 se tienen un ejemplo de esta notación.

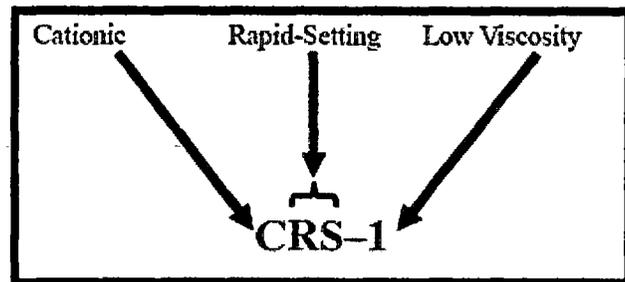


Figura 1.4: Emulsión catiónica de rotura rápida de baja viscosidad.

Cuando se ha utilizado un asfalto duro (penetración de 40 - 50 mm a 77 °F) en la manufactura de la emulsión, se suele colocar la letra h como sufijo. Cuando no aparece la letra h se sobreentiende que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 100 - 200 mm. Por ejemplo, CSS-1h representa a una emulsión catiónica de sedimentación lenta con viscosidad entre 20 y 100 s, en la que se ha utilizado un asfalto con penetración 40 a 90 mm, un ejemplo de esta notación se puede observar en la figura 1.5.

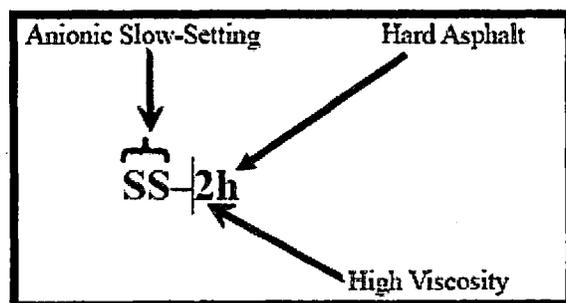


Figura 1.5 Emulsión aniónica de Rotura lenta de alta viscosidad, elaborado con un asfalto duro (penetración 100-200 mm).

1.1.6 Rotura

El quiebre o rotura de la emulsión, consiste en la separación del agua del asfalto en presencia de los áridos; el curado de la emulsión, etapa posterior al quiebre, es el tiempo requerido para que el sistema asfalto-árido este apto para su uso.

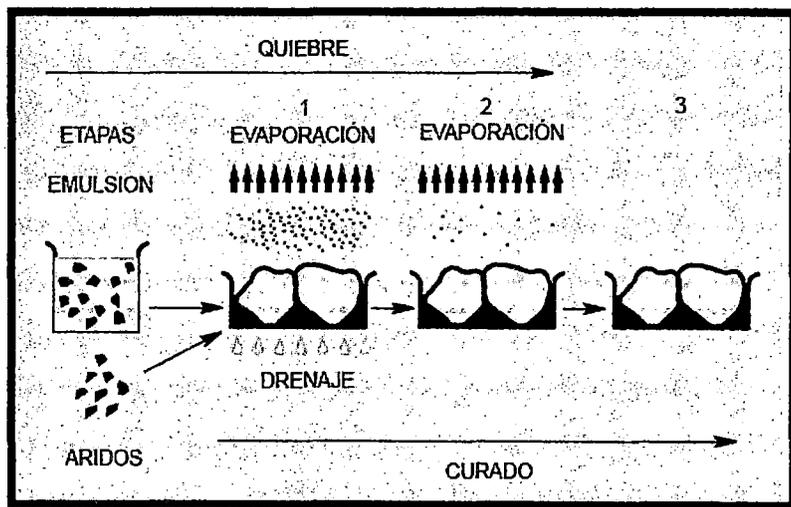


Figura 1.6: Etapas de la emulsión Asfáltica.

Como se observa la figura 1.6, los factores que influyen en la rotura de la emulsión son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y, en menor grado, factores físico-químicos y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. La absorción puede ser de la parte polar ácida y ácidos grasos que efectúan su reacción con el material, lo cual destruye la película protectora, haciendo depositar el ligante sobre el agregado, esto origina la rotura de una emulsión; lo anterior sucede con casi todos los materiales. Esta absorción de la parte polar de jabón por los agregados, provoca la rotura de la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material, aún en presencia agua.

1.1.7 Pruebas de calidad

Consisten en una serie de ensayos que se realizan sobre la emulsión para determinar si cumplen con las especificaciones requeridas en un uso particular. Estas pruebas se aplican para el control de calidad tanto en su fabricación como en su aplicación. Entre los más principales se tiene:

1.1.7.1 Determinación del pH

Esta prueba permite verificar la acidez o alcalinidad de la solución acuosa del surfactante mediante un potenciómetro. El pH de la emulsión es difícil de determinar, debido a que ésta se adhiere a las paredes de los electrodos del

equipo de medición, y no se obtienen resultados exactos; sin embargo, se puede tener un valor aproximado, por cuanto el pH de las emulsiones varía entre 0.5 y 0.8 con respecto al pH de la solución acuosa.

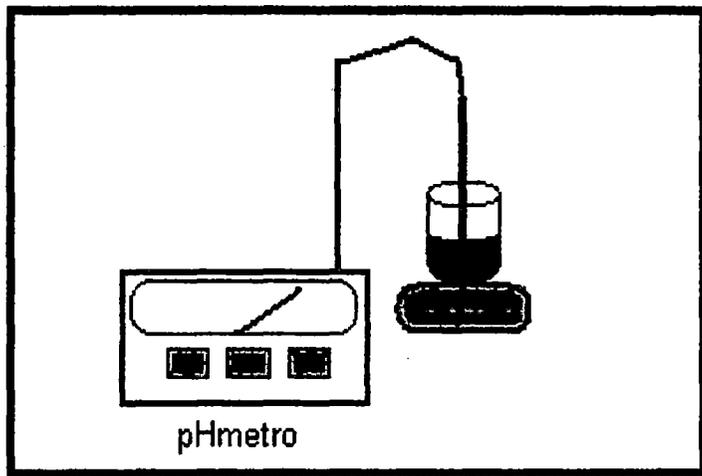


Figura 1.7 Equipo para medir el pH de la emulsión (pH metro).

1.1.7.2 Destilación

El ensayo de destilación (ASTM D244) permite obtener el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión al calentarla a 260° C, el residuo se recupera para realizar sobre él pruebas de penetración ductilidad y solubilidad, para saber cómo ha afectado al cemento asfáltico el calentamiento, ver figura 1.8.

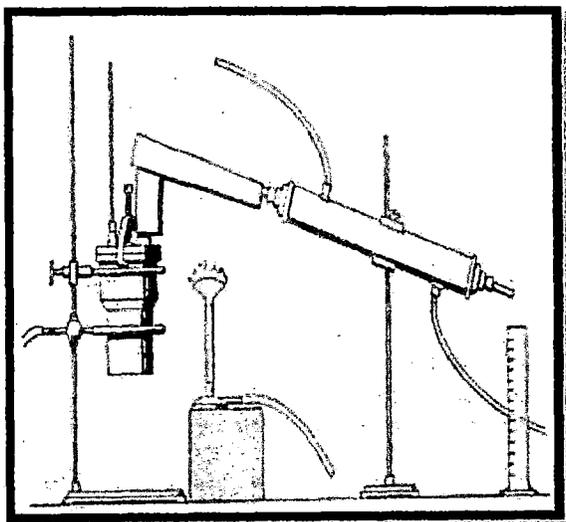


Figura 1.8: Ensayo del residuo por Destilación.

1.1.7.3 Residuo por evaporación

El objeto de esta prueba (ASTM 244-Modificado) es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas, mediante evaporación rápida, ver figura 1.9. Resulta útil para determinar el contenido de asfalto en el menor tiempo posible, principalmente cuando se trata de analizar el residuo asfáltico procedente de una planta en operación. El ensayo consiste en determinar, por diferencia de pesada, el contenido de asfalto de una muestra de emulsión que se somete a evaporación por calentamiento directo de un recipiente de dimensiones normalizadas (20 cm de diámetro por 5 cm de altura). El residuo obtenido en este ensayo tiende a dar valores de penetración y ductilidad inferiores a los que se obtienen en el residuo por destilación, por esto no puede usarse este residuo para tales ensayos.

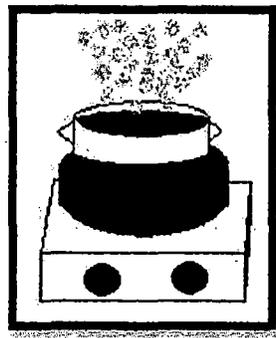


Figura 1.9: Equipos para determinar el residuo por evaporación de una emulsión asfáltica.

1.1.7.4 Asentamiento

El objeto de la prueba (ASTM D 244 29/32) es obtener un índice de la tendencia de las gotas de asfalto al sedimentarse durante el almacenamiento prolongado de la emulsión. El equipo típico utiliza dos cilindros de 500 ml de capacidad con tapón de corcho o vidrio. Se coloca en cada cilindro una muestra de 500 ml de emulsión y se dejan en reposo durante cierto tiempo a temperatura ambiente. Transcurrido ese tiempo, se destapan los cilindros y se toman 40 ml de la parte inferior y superior de cada uno, tratando de no alterar el resto de la muestra, y se examina el residuo asfáltico por evaporación. El asentamiento se reporta como la diferencia de los promedios porcentuales de asfalto de la parte inferior y

superior. El valor máximo permisible de asentamiento es de 5% para cualquier tipo de emulsión.

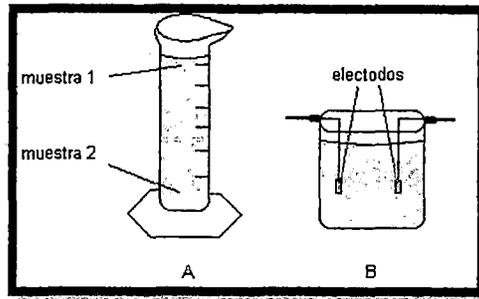


Figura 1.10: Equipos para determinación de: (A) Asentamiento, (B) Carga eléctrica de una emulsión asfáltica.

1.1.7.5 Carga Eléctrica

Esta prueba (ASTM D 244) permite determinar si una emulsión es del tipo aniónica o catiónica, basándose en la carga eléctrica que posean los glóbulos de asfalto. El experimento consiste en sumergir unos electodos en una muestra de la emulsión, y hacer pasar una corriente eléctrica durante cierto tiempo, luego del cual se examinan visualmente los electodos, ver figura 1.10-B. El electrodo con la mayor deposición de asfalto libre determinará el tipo de la emulsión.

Una variante de este ensayo consiste en medir el tiempo en que la lectura de la intensidad de corriente pasa de 8 mA a 2 mA, para de esta manera, clasificar a la emulsión según el tipo de rompimiento, de acuerdo a la escala mostrada en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1: Escala de tiempo para identificar el tipo de emulsión.

TIPO DE EMULSIÓN	TIEMPO(min)
Rápida	3-15
Media	14-45
Lenta	45-90
Muy estable	No es posible medirlo

Fuente: Mercado Ronald, Bracho Carlos, Avendaño Jorge-Emulsiones asfálticas usos y rompimiento-2008.

1.1.7.6 Viscosidad Saybolt Furol

Esta prueba (ASTM P 244 P 88) cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio. Se lleva a cabo con un viscosímetro del tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 cm³, ver figura 1.11. Este tiempo se utiliza como una característica del tipo de rompimiento de una emulsión; rápido, medio o lento.

Los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol, y por conveniencia y precisión de ensayo, se realiza a dos temperaturas, 25 °C y 50 °C, las cuales cubren el intervalo normal de trabajo.

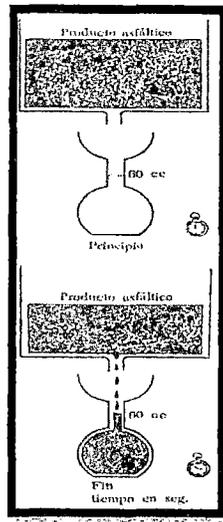


Figura 1.11: Medición de la Viscosidad Saybolt Furol

1.1.7.7 Adhesividad

Esta prueba según la norma ASTM D 244 50/55 se realiza con el propósito de determinar la facilidad con la que una emulsión puede recubrir completamente un material determinado (agregado), soportar una acción de mezclado al permanecer como una película sobre el agregado, y resistir la acción del agua de lavado, después de completar el mezclado. El ensayo, útil en las emulsiones de rotura media y lenta, también permite determinar la estabilidad química de la emulsión, mediante la evaluación de la capacidad de cubrir uniformemente a un tipo de árido considerado, o a un árido que se desea ensayar en una determinada obra, ver figura 1.12.

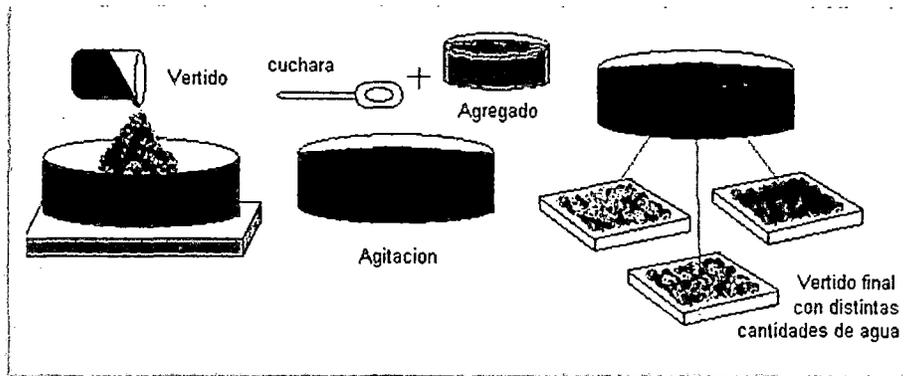


Figura 1.12: Prueba de adhesividad en una emulsión asfáltica en sus distintas fases: vertido de la emulsión, inclusión del agregado y vertido final.

1.1.7.8 Índice de rotura

Este ensayo se basa en la actividad de una emulsión en presencia de materiales finos, y permite medir la velocidad de rotura de una emulsión en condiciones normalizadas, empleando un material de referencia que puede ser cemento portland o polvo de sílice, según el tipo de emulsión a estudiar. En determinada cantidad de emulsión se introduce el relleno a cierta velocidad (g/s) y con agitación constante para asegurar la homogeneidad, el relleno se añade hasta la rotura de la emulsión, y el índice de rotura se expresa como una relación entre la cantidad de relleno añadido y la cantidad de emulsión ensayada.

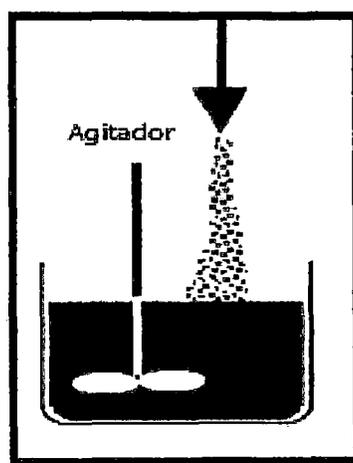


Figura 1.13: Ensayo para determinar el índice de Rotura.

1.1.7.9 Penetración

Esta prueba se realiza al asfalto residual después de que la emulsión haya sucedido su rompimiento, y se ha eliminado la fase acuosa. El procedimiento es similar al realizado al asfalto solo, antes de ser emulsificado. En la figura 1.14 se muestra el sistema del ensayo para obtener la penetración del residuo asfáltico.

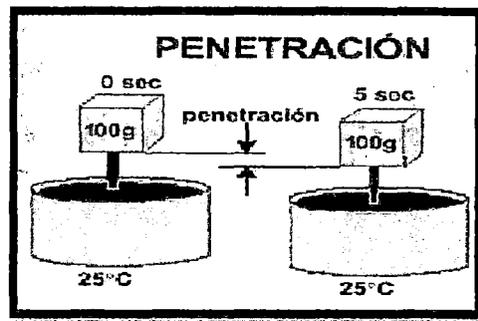


Figura 1.14: Ensayo de penetración.

1.1.7.10 Tamizado

El ensayo de tamizado (ASTM D244 44/47) determina cuantitativamente el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes y que pueden obstruir el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre las partículas del agregado pétreo; además de que el tamaño de los glóbulos indican una buena o mala estabilidad de la emulsión para permanecer en este estado. Los glóbulos indican que la emulsión va a tener una tendencia a sedimentarse y por lo tanto esto puede causar su rompimiento, el tamiz usado es el N° 20 como se observa en la figura 1.15.

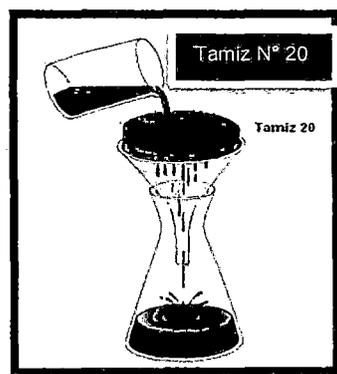


Figura 1.15: Ensayo de Tamizado.

Además de los ensayos mencionados existen, una gran cantidad de ensayos que son exigidos de acuerdo a la normativa con la cual se esté trabajando.

1.1.8 Almacenamiento

Este aspecto exige mayores precauciones que para otros tipos de materiales asfálticos; un manejo o almacenamiento inapropiado (o ambos) puede producir su rotura prematura y producir pérdidas; por tanto, se debe seguir ciertas reglas, cuya aplicación asegura resultados óptimos.

Las emulsiones pueden transportarse con el mismo equipo utilizado para el transporte de asfaltos líquidos, y no se requieren tanques dotados de serpentines para calentar durante el trayecto de la planta productora a la obra, disminuyendo considerablemente los costos energéticos.

Pueden ser transportados también utilizando tambores de 55 galones, éstos deben de estar totalmente cerrados para evitar la rotura de la emulsión, especialmente las emulsiones de rotura rápida.

La descarga de cisternas puede hacerse por gravedad o utilizando bombas con tolerancias apropiadas que permitan el libre flujo del líquido.

En lo posible, se deben utilizar tanques de almacenamiento verticales (para almacenar emulsiones por largos períodos de tiempo) porque es mucho menor el área de emulsión expuesta al aire que en tanques horizontales, disminuyendo la posibilidad de formación de natas.

Cuando se requiera almacenar una emulsión por largos períodos de tiempo, se debe recircular con la frecuencia requerida (según la sedimentación de la emulsión).

La salida de la emulsión debe ser por el fondo del tanque, para minimizar la contaminación por nata que se haya formado.

Se deben evitar repetidos bombeos y reciclados, si es posible, puesto que la viscosidad puede afectarse e involucrarse aire, haciendo inestable la emulsión.

La temperatura de almacenamiento debe estar comprendida entre 10 y 85 °C; las emulsiones de rotura rápida y alta viscosidad deben almacenarse a temperaturas entre 50 y 85 °C.

No se debe calentar la emulsión almacenada a temperaturas superiores a 85 °C. Las temperaturas elevadas evaporan el agua, lo cual trae como consecuencia, un aumento en la viscosidad y formación excesiva de nata que inutilizan la emulsión y hace difícil la desocupación del tanque.

Temperaturas inferiores a 10 °C producen el rompimiento de la emulsión, separando el asfalto del agua, con lo cual igualmente se inutiliza la emulsión y hace difícil la limpieza.

1.1.9 Emulsiones convencionales producidas en el Perú

En el Perú las empresas más importantes producen emulsiones catiónicas convencionales, no se producen emulsiones asfálticas aniónicas, debido a su poco uso, en el cuadro 1.2 se citan algunas empresas y el tipo de emulsión asfáltica convencional que éstas producen.

Cuadro 1.2: Tipo de Emulsiones Asfálticas producidas en el Perú.

TIPO DE EMULSION ASFALTICA	TDM ASFALTOS	BITUPER	CARLOS AMOROSOS HECK S.A
Emulsiones asfálticas de rotura rápida	✓	✓	✓
Emulsiones asfálticas de rotura media	✓	✓	✓
Emulsiones asfálticas de rotura lenta	✓	✓	✓
Emulsiones asfálticas de rotura controlada	✓	✓	✓
Emulsiones asfálticas de rotura modificadas	✓	✓	✓

Fuente: Vallejo Ramírez Diego-Diseño de mezclas asfálticas en frio empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales-2011.

1.1.10 Ventajas en su uso

Para detallar las ventajas de la emulsión, es necesario hablar de las desventajas que trae consigo el uso del asfalto como tal. El asfalto de manera general se pueden fluidizar para ser aplicados utilizando calentamiento, diluyéndolo con solventes, o usándolos emulsionados.

La dilución con solventes, implica algunas desventajas ya que la mezcla se aplica como líquido que cuela entre las piedras ya compactadas, pero luego, el solvente (generalmente gasolina) se evapora hacia la atmósfera. Este proceso, es además de costoso, contaminante. Otra desventaja es el arrastre de la mezcla en caso de lluvia, lo cual conlleva a que no se pueda compactar posteriormente e igualmente tarda tiempo en secar. Uno de los fenómenos más importantes es que la adhesión asfalto-roca no esta garantizada debido a problemas de mojabilidad.

La aplicación del asfalto en caliente requiere calentar la mezcla (y por tanto la piedra), ya que este tiene que mantenerse caliente para el mezclado y la aplicación, por lo cual se genera una leve contaminación ambiental debido a la evaporación de algunos constituyentes del asfalto. En general este proceso ofrece una buena adhesión, pero tarda en enfriar por lo cual el uso de la carretera se demora. La aplicación del asfalto de esta manera lo hace sensible a la lluvia y es aplicable más que todo a gran escala.

Las emulsiones asfálticas implican un proceso de emulsificación y son aplicables en frío. De manera general no contaminan, pues no hay evaporación ni de solventes ni de constituyentes del asfalto. Este proceso se puede aplicar sin importar la lluvia. Para el uso en carreteras, las emulsiones asfálticas ofrecen una buena adhesión, sin embargo, en el proceso de imprimación y adherencia es sensible al agregado rocoso y por supuesto, sensible a la formulación en sí, lo cual los convierten en procesos complejos.

1.1.11 Aplicación

Se detallará solamente los mecanismos de aplicación, para riegos, por ser parte importante de este trabajo de investigación.

Aunque la aplicación manual estuvo muy extendida hasta hace no muchos años, la aplicación de las emulsiones asfálticas en riegos, requiere el empleo, en todos los casos, de una cisterna de riego, preferentemente con un control automático de la dotación aplicada.

Las cisternas suelen ser de forma elíptica, con capacidad variable entre los 5.000 y 25.000 lt, ver figura 1.16, estas cisternas deben ir dotadas de termómetros para el control de temperatura y de indicadores de nivel. Igualmente

se debe disponer de todos aquellos sistemas de seguridad que la aplicación y el transporte de estos productos sean exigidos.

Además de disponer del equipo de aplicación básico (cisterna de riego), para la ejecución, en numerosas ocasiones es necesario disponer de otros elementos. En principio, es necesario disponer también de una barredora para garantizar un mínimo de limpieza de la superficie a tratar. En la figura 1.16 se muestra la aplicación del riego de liga con la ayuda de una cisterna.



Grafico 1.16 Aplicación de riego de liga.

A continuación se describe la forma de aplicación de las emulsiones asfálticas en algunos riegos.

1.1.11.1 Riegos de adherencia

Las emulsiones a emplear son de rotura rápida para que una vez aplicada la separación de agua y asfalto se produzca lo más rápidamente posible. Su viscosidad ha de ser baja para conseguir una correcta pulverización.

Se realiza con cisternas regadoras capaces de aplicar la dotación de la emulsión especificada de forma uniforme. Solamente se permite utilizar un equipo portátil provisto de una lanza de mano en los sitios inaccesibles a las cisternas indicadas.

1.1.11.2 Riegos de Imprimación

Las emulsiones a emplear en riegos de imprimación deben tener una baja viscosidad para permitir una fácil penetración en el soporte. Una viscosidad inferior a 30 sSF a temperatura de ambiente.

Aunque la experiencia de un buen regador puede dar lugar a resultados más que aceptable, con carácter general se debe exigir el riego con cisterna autopropulsada dotada de rampa de riego y control automático de dotación.

En la aplicación en obra del riego de imprimación deben tenerse en cuenta aspectos fundamentales como la porosidad y humedad del material a imprimir que condicionan en gran medida la dotación a emplear y el éxito del tratamiento.

1.1.11.3 Riego de Curado

Las emulsiones a emplear en riegos de curada deben de tener una viscosidad relativamente baja para permitir obtener una membrana impermeable pero delgada. Una viscosidad del orden de 20-30 sSF.

En su aplicación en obra un detalle a tener en cuenta es la posibilidad de que la capa vaya a tener que soportar el paso de los vehículos antes de la extensión de la capa superior, el paso debe estar prohibido durante los primeros tres días.

La aplicación del riego debe realizarse con medios mecánicos adecuados, lo que supone el empleo, salvo para las excepciones típicas de zonas inaccesibles para ellos, de cisternas autopropulsadas.

1.1.11.4 Riegos antipolvo

Las carreteras de tierra y piedra con buenas condiciones para el tráfico rodado los caminos vecinales, rurales, agrícolas o forestales, presentan frente al paso de los vehículos el fundamental problema del polvo. Su eliminación es siempre necesaria.

La aplicación de la emulsión catiónica y de rotura lenta suele hacerse por gravedad empleando presiones bajas, siendo recomendable el empleo de cisternas regadoras, con las que se consiguen altos rendimientos.

1.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS DE IMPRIMACIÓN

Estos tipos de emulsiones asfálticas son las que requieren un riguroso análisis. Han venido formando parte de los grandes avances en la construcción de pavimentos, que se ha tenido en los últimos años.

Actualmente en el Perú no se produce ninguna emulsión del tipo de imprimación, debido a la falta de conocimiento, y a la poca investigación del tema.

Estas emulsiones fueron desarrolladas y aplicadas en los últimos años, por la necesidad de eliminar el uso de los asfaltos diluidos de petróleo, que provocan una grave contaminación al medio ambiente, debido a la emisión de compuestos orgánicos volátiles.

Un ejemplo claro de esto fue manifestado en la investigación realizada en los EE.UU por la FWHA (Federal Highway Administration), en donde se indago sobre los tipos de ligantes asfálticos, utilizados por los departamentos norteamericanos de agencias de vías de transporte, véase cuadro 1.3.

Cuadro 1.3: Tipo de ligantes utilizados por agencias de transporte americanas para Imprimación.

AGENCIA	MATERIAL
Arizona	Asfalto diluido y emulsión
California	No usan asfalto diluido
Colorado	Emulsiones AEP y PEP
Kansas	Asfalto diluido y emulsión
Nebraska	Asfalto diluido
Nevada	Asfalto diluido y emulsión
New México	Emulsiones AEP y PEP
North Dakota	Todos los Materiales
Texas	Emulsiones AEP y PEP
Utah	Todos los Materiales
Wyoming	Todos los Materiales
U.S.F.S (U.S Forest Service)	Asfalto diluido y emulsión
CLFHD (Central Federal Lands Highway)	Asfalto diluido y emulsión

Fuente: Cross y Shrestha-Guide lines for using prime and tack coat-2005.

Apenas el departamento de transporte de Nebraska utiliza el asfalto diluido como alternativa única para la imprimación, tres agencias especifican el uso único de emulsiones AEP (Asphalt Emulsion Prime) y PEP (Penetrating Emulsion Primer), las demás agencias permiten alternativamente el uso de asfaltos diluidos, emulsiones asfálticas y otros materiales para la imprimación.

De forma general el uso de los asfaltos diluidos es limitado, debido a la concientización ambiental y a la legislación, esto ha contribuido notablemente, en investigar y desarrollar emulsiones de imprimación de alta calidad.

1.2.1 Tipos según el país

Los países con investigación en el tema, cuentan con especificaciones técnicas propias para emulsiones de imprimación, y las empresas que las producen otorgan su nomenclatura correspondiente.

1.2.1.1 EE.UU

- AEP (Asphalt Emulsion Prime)

Esta emulsión asfáltica es de baja viscosidad, está compuesta de asfalto, un surfactante especial (anfótero) y agua. La aplicación de esta emulsión puede proveer varias ventajas, incluyendo la reducción o eliminación de polvo generado por el tráfico en la superficie, que comprende un material granular, tal como arena, grava o un material compuesto con limos y arcillas.

Si bien los suelos más finos son los que presentan una mayor dificultad a ser imprimados, este tipo de emulsión puede ser formulada con un porcentaje mínimo de destilado de petróleo, para favorecer a su penetración.

La emulsión AEP es formulada especialmente para penetrar rápidamente dentro de la base granular, enlazar y aglutinar dicho material. La penetración profunda es deseable para asegurar la imprimación.

Además de la reducción de polvo en el aire generado por el viento o por el tráfico en la superficie de la carretera, la emulsión AEP proporciona varios beneficios. Puede parcialmente impermeabilizar áreas tratadas

para que sean resistentes a la erosión del agua antes de la aplicación de la capa de rodadura de asfalto.

Esta emulsión es desarrollada conforme a las especificaciones técnicas ASTM D977 cumpliendo con los requerimientos mínimos para una emulsión de rotura lenta (CSS-1h), véase anexo I.

- PEP (Penetration Emulsion Primer)

La emulsión AEP es diluida con agua antes de su aplicación a la superficie granular, para así formar la emulsión PEP.

El concentrado de AEP, se mezcla con suficiente agua para generar una mezcla aproximadamente de 50% a 70% de agua, y entre 30% a 50% de la emulsión AEP.

Esta emulsión no es estable durante tiempos prolongados y se aplica normalmente dentro de un corto periodo de tiempo después de la mezcla.

Es aplicada por pulverización, el material se extiende sobre la superficie para lograr la penetración deseada.

Después de la aplicación, se deja un tiempo de curado sin perturbaciones preferiblemente entre 3 horas y 5 horas.

1.2.1.2 Brasil

- Emulpen

En los últimos años PETROBRAS ha venido desarrollando emulsiones de imprimación, es en el 2011 en donde el gerente ejecutivo Carlos Eduardo Duff, explica el lanzamiento de una emulsión de imprimación denominada "Emulpen", lanzado con exclusividad al mercado brasileño, atendiendo a los requisitos ecológicos y ambientales.

Las características y propiedades de esta emulsión son:

- Producto ecológico, al presentar una composición libre de solventes volátiles, esta emulsión puede ser aplicada en un suelo compactado que presente una humedad de hasta 4%.

- El rendimiento varía de acuerdo con las características del suelo a imprimir, específicamente a la porosidad que presente.
- La tasa de aplicación normalmente utilizada es de 1.2 lt/m² a 1,8 lt/m²

Esta emulsión asfáltica cumple con las especificaciones técnicas establecidas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), ver cuadro 1.4.

- NBR 14491 : Viscosidad de Saybolt Furol a 25°C
- NBR 6570 : Sedimentación a los 5 días
- NBR1393 : Penetración (0.84 mm)
- NBR 6299 : pH
- NBR 6568 : Solvente destilado

Cuadro 1.4: Especificaciones técnicas de las emulsiones de imprimación en Brasil.

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES	
	Mín.	Máx.
Viscosidad de Saybolt Furol a 25 °C (seg)	-	90
Sedimentación (% en peso)	-	10
Penetración (0.84mm)	-	0.1
pH	-	8
Solvente Destilado (% en volumen)	0	15
Residuo por Evaporación (% en peso)	45	-

Fuente: Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) – Especificaciones técnicas para emulsiones de imprimación.

Si bien las emulsiones de imprimación deben presentar una viscosidad baja, las especificaciones técnicas del cuadro anterior no detallan un valor mínimo, este valor está relacionado con el porcentaje de residuo asfáltico por evaporación restringido por un 45% como mínimo.

1.2.1.3 Argentina

- CI

EL Dr. Jorge O. Agnusdei de la Comisión Permanente del Asfalto de Argentina presento las emulsiones de imprimación "CI" en el 2011, en una

exposición en el Instituto Brasileño de Petróleo. En el año 2001 fue normalizada, con una denominación de Norma IRAM 6691.

Los ensayos a realizar a la emulsión y residuo asfáltico son:

- IRAM 6721 : Viscosidad de Saybolt Furol a 25°C
- IRAM 6719 : Residuo Asfáltico
- IRAM 6576 : Penetración
- IRAM 6719 : Hidrocarburos Destilados
- IRAM 6716 : Asentamiento

Cuadro1.5: Especificaciones técnicas de las emulsiones de imprimación-Argentina.

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES	
	Min.	Máx.
Viscosidad de Saybolt Furol a 25 °C (seg)	-	90
Residuo Asfáltico (% en peso)	40	-
Penetración a 25°C, 100g, 5seg (0.1mm)	200	300
Hidrocarburos destilados (ml/100ml ó %)	5	15
Asentamiento (g/100g ó %)	-	15
Ductibilidad a 25°C (cm)	40	-

Fuente: IRAM 6691, Emulsión de Imprimación

Estas especificaciones tampoco detallan un valor mínimo para la viscosidad, al igual que las especificaciones brasileñas, dicho valor es controlado de acuerdo al porcentaje residual de asfalto, indicado por un 40% como mínimo.

1.2.1.4 Chile

- Mobil E-prime

Esta emulsión es producida por Asfaltos Chilenos S.A, cumpliendo con las estrictas normas de este país, establecidas especialmente para el desarrollo del producto.

De acuerdo a la condición de las superficie, la tasa de aplicación está entre 0.8 a 1.2 lt/m².

Los ensayos a realizar a esta emulsión de acuerdo a la normativa chilena son:

- NCh2334 : Viscosidad a 25°C
- NCh2333 : Densidad (Kg/m³)
- NCh2338 : Punto de Inflamación
- NCh2347 : Residuo por destilación
- ASTM D-139 : Flotación a 50° C (s)

Las especificaciones para este tipo de emulsión son las establecidas en el cuadro 1.6.

Cuadro 1.6: Especificaciones técnicas para emulsiones de imprimación en Chile.

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES	
	Mín.	Máx.
Viscosidad de Saybolt Furol a 25 °C (seg)	20	60
Densidad (Kg/m ³)	960	980
Punto de Inflamación (°C)	100	-
Residuo Asfáltico (%)	20	-
Residuo Aceite (%)	-	15

Fuente: Ficha técnica - Asfaltos Chilenos S.A

A diferencia de las especificaciones argentinas y españolas, en ésta se permite una disminución del residuo asfáltico hasta un 20%, y en algunos casos acompañados con aceite. En esta investigación se utilizó esta normativa con la finalidad de obtener emulsiones con un residuo asfáltico mínimo y con una viscosidad baja, por otra parte cabe resaltar que no se utilizó ningún tipo de aceite.

CAPITULO II: IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

2.1 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN CAMPO

Pocos investigadores en el Perú y el mundo, han dedicado sus estudios a la imprimación asfáltica en campo, algunos autores son bastante objetivos, describen brevemente las funciones del riego de imprimación desempeñadas en un pavimento asfáltico, en cuanto a otros que son más detallistas e inclusive especifican en qué situación se debe de aplicar el riego de imprimación.

La imprimación asfáltica según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000 capítulo IV, sección 401, es una incorporación de asfalto a la superficie de Base, a fin de prepararla para recibir una capa de pavimento asfáltico.

En una investigación presentada en el Trigésimo Quinta Reunión del Asfalto (Argentina 2008), Petrobras menciona que la imprimación consiste en la aplicación de un riego con emulsión asfáltica, en capas no asfálticas, no mencionando a los asfaltos diluidos, y que tienen las siguientes funciones:

- Ennegrecer la superficie para impermeabilizarla
- Anclar las partículas de la superficie, eliminando el polvo y las partículas sueltas.
- Obturación de los vacíos capilares superficiales
- Generar una interface, para que el riego de liga sea colocado sobre una superficie a fin de que asegure el anclaje con la capa siguiente.

Conforme al United States Army Corps of Engineers (USACE), la imprimación asfáltica consiste en la aplicación, bajo presión, de un líquido asfáltico sobre una capa de base antes de la colocación del revestimiento, esta institución señala también que el objetivo de la imprimación es impedir el movimiento lateral de la mezcla asfáltica durante la construcción de la capa.

La American Society for Testing and Materiales – ASTM (D8-02,2003) define la imprimación de la base de un pavimento como una aplicación de un ligante bituminoso, diseñado para penetrar, ligar y estabilizar un porción superior de esta capa, promoviendo una adhesión con la capa que se superpone.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente es imprescindible que la imprimación sea ejecutada con extremo cuidado, a fin de que pueda cumplir con las funciones señaladas, para lo cual es necesario que se cumplan algunas condiciones generales de aplicación y con el control de calidad respectivo.

2.1.1 Condiciones generales de aplicación

La base antes de la imprimación debe estar bien drenada y libre de excesos de humedad, debe ser barrida, de preferencia con escobas mecánicas giratorias, para que sean retirados los finos existentes en la superficie. Después de barrer se debe efectuar una ligera pasada de un rodillo neumático o humedecer previamente la base, para el asentamiento de los finos restantes por la barrida.

2.1.2 Dotación de los materiales

Es definida como aquella que puede ser absorbida por la base en 24 horas, debiendo ser determinadas en obra, las especificaciones técnicas EG-2000 señalan que la cantidad por m^2 de material bituminoso, debe estar comprendido entre $0.7 \text{ lt}/m^2$ - $1.5 \text{ lt}/m^2$.

2.1.3 Materiales para su aplicación

Actualmente en el Perú se sigue utilizando el asfalto diluido MC-30, y opcionalmente algunas empresas dedicadas al rubro optan por utilizar emulsiones asfálticas, no obstante, estas aplicaciones trae consigo en algunos casos malos resultados, consecuencia de no utilizar la emulsión correcta y no cumplir con algunas condiciones de aplicación.

2.2 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN LABORATORIO

El estudio en laboratorio es sin duda la manera más directa de poder cuantificar la penetración de las emulsiones y tener un panorama más amplio de los resultados que se pueden obtener en campo.

Si bien los factores que se tienen en laboratorio y en campo son diferentes, como el clima, la calidad de la emulsión y condiciones de superficie, los procedimientos que se realizan en laboratorio se asemejan a los realizados en campo.

Para este estudio existen diversas metodologías, desde las más complejas como la metodología española, que se encuentra normada, y otras que son utilizadas en laboratorio en base a tesis de doctorado como es el caso brasileño. A continuación se detallarán brevemente algunas metodologías y luego se detallará la importancia de éstas.

2.2.1 Metodología I (ESPAÑA)

En España se hace uso de la normativa europea, más concretamente la norma UNE-EN 12849 que determina el poder de penetración de las emulsiones asfálticas, en esencia el ensayo consiste en verter una cantidad determinada de emulsión imprimante (10 gr) sobre un árido normalizado (polvo mineral) contenido en un tubo transparente, luego determinar el tiempo y la profundidad de penetración.

2.2.2 Metodología II (EE.UU)

Esta prueba es utilizada en varios estados de los Estados Unidos. En esta prueba se compacta un material de relleno de cuarzo muy fino a 100 psi y un 2% de humedad, Se coloca cinco gramos de emulsión (que puede estar diluida) sobre la arena y se mide el tiempo que tarda en penetrar y la profundidad de penetración. Como material de comparación se utiliza el MC-30, en el caso de desear una mayor discriminación en la prueba, se mezcla la misma arena con un 5% de cemento portland y un 4% de humedad y luego se compacta a 100 psi.

2.2.3 Metodología III (BRASIL)

Fue desarrollada para evaluar en la fase de proyecto, y orientar en la fase de construcción, el material imprimante a usar más adecuado y la tasa de aplicación necesaria para obtener una imprimación más apropiada.

Fue realizada especialmente para aquellos suelos de granulometría fina, que pasen íntegramente la malla de 2mm o aquellos que presenten un porcentaje retenido mínimo en dicha malla.

En esta metodología, se elaboran los llamados "cuerpos de prueba", que se obtienen a partir de la compactación de un determinado tipo de suelo. Estos pequeños cilindros que sirven como moldes, generalmente son de 50 mm de diámetro y 130 mm de altura. En general el autor (Douglas Fadul Villibor)

recomienda utilizar, para la elaboración de los cuerpos de prueba, moldes que permitan compactar el suelo y que posteriormente se pueda observar la penetración del material imprimante.

Las metodologías desarrolladas, son indicadores que ponen en manifiesto, el interés actual en poder determinar la capacidad de penetración de las diferentes emulsiones asfálticas de imprimación, descartar a ciencia cierta, aquellas que no presentan compatibilidad ni penetración con el tipo de suelo en estudio.

CAPITULO III: ESTUDIO EN LABORATORIO

3.1 ESTUDIO DEL SUELO

Para realizar un análisis del desempeño de las emulsiones asfálticas de imprimación, es necesario conocer qué características presenta el suelo a imprimir, en esta investigación se buscó determinar si las emulsiones de imprimación desarrolladas, presentaban compatibilidad y posteriormente buena penetración en el suelo proveniente del KM 46+900 de la Red Vial 1-Cusco. No obstante se pueden presentar diferentes tipos de suelos en el que se deseen poner a prueba el potencial de las emulsiones asfálticas de imprimación, y realizar el posterior análisis de cuáles son las emulsiones que presentan un mejor comportamiento para un determinado tipo de suelo.

Se colectó dos sacos de aproximadamente 50kg cada uno para realizar los ensayos y elaborar los cuerpos de prueba.

3.1.1 Ensayo de análisis granulométrico de agregados finos

Realizar el análisis granulométrico del suelo permitirá estudiar el tamaño de las partículas, y medir la fracción de suelo que presenta (gravas, arenas, limos y arcillas), con este ensayo posteriormente se podrá concluir si el suelo en estudio es un suelo fino (suelo difícil de imprimir) o un suelo con granos gruesos (no presenta dificultad de imprimación), además de ello el ensayo junto con el ensayo de límites de Atterberg permitirá dar la nomenclatura correspondiente al suelo.

Los resultados de los ensayos se muestran en el cuadro 3.1 del cual se puede afirmar:

- El suelo presenta 36% de grava, 53.6% de arena y un porcentaje mínimo de 10.4 para limos y arcillas.
- Se trata de un suelo con partículas de distintos tamaños, en mayor proporción de arena.
- Dentro del porcentaje de arena, presenta un 26.5% de arena media y un porcentaje mínimo de arena gruesa igual a 8.9%.

- Por lo tanto el suelo presenta una mayor cantidad de granos de tamaño medio, siendo ideal para poner a prueba el potencial de imprimación de las emulsiones asfálticas.

Cuadro 3.1: Análisis granulométrico del suelo por tamizado.

Tamices		% Que pasa	Distribución granulométrica			
(pulg)	(mm)		Total		100.0	
3"	75.000	100	% GRAVA	GRAVA GRUESA	36.0	
2 1/2"	63.000	100.0				
2"	50.000	100.0		10.0		
1 1/2"	37.500	100.0		GRAVA FINA		
1"	25.000	100.0				
3/4"	19.000	90.0		26.0		
1/2"	12.500	78.3		% FINO		ARENA GRUESA
3/8"	9.500	74.0				
1/4"	6.300	65.4				ARENA MEDIA
Nº04	4.750	64.0				
Nº08	2.360	57.2	ARENA FINA			
Nº10	2.000	55.1				
Nº16	1.190	48.9	26.5			
Nº20	0.850	44.2	18.2			
Nº30	0.600	38.0				
Nº40	0.425	28.6	% LIMO - ARCILLA			
Nº50	0.300	21.7				
Nº80	0.177	15.5	10.4			
Nº100	0.150	14.0				
Nº200	0.075	10.4	10.4			
< Nº200	FONDO	9.0				

3.1.2 Ensayos de determinación de los límites de Atterberg

Posterior al análisis granulométrico es necesario realizar estos ensayos para dar la nomenclatura correspondiente al tipo de suelo. Los límites de Atterberg definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa.

3.1.2.1 Límite líquido

Es el contenido de agua de una pasta arcillosa por encima del cual pasa del estado plástico al estado líquido.

Cuadro 3.2: Límite líquido del suelo.

KM 46+900 Red Vial 1-Cusco	
Límite líquido	19.50%

El material es estudio es un suelo que se usará para formar parte de la base granular, por consiguiente según las exigencias (MTC E-110), el valor máximo para el límite líquido es de 25%, por lo tanto se está cumpliendo con dicha especificación.

3.1.2.2 Límite plástico

Al tratarse de un suelo con alta cantidad de arena, no fue posible realizar el ensayo, no se logró elaborar los pequeños rollitos de 1/8", esto debido a las partículas friccionantes que poseen las arenas, por tal motivo el suelo es del tipo NP.

El índice plástico es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, representando por tanto el rango de humedad en el que el material tendrá un comportamiento plástico, al realizar los ensayos se pudo observar que el suelo no presentó comportamiento plástico alguno, por consiguiente no presentó IP, según especificaciones técnicas este valor no será mayor a 4%.

3.1.3 Equivalente de arena

Se define el equivalente de arena como la proporción de la altura alcanzada por las partículas de naturaleza arenosa, en una suspensión de árido fino en agua, respecto a la altura alcanzada por las partículas arcillosas en la misma suspensión, en porcentaje. Por este motivo, cuanto mayor es el equivalente de arena de un árido fino, menor es el contenido en partículas arcillosas, por lo que su limpieza es mejor.

En el cuadro 3.3 se muestra el resultado final obtenido para el equivalente de arena.

Cuadro 3.3: Equivalente de arena.

KM 46+900 Red Vial 1-Cusco	
Resultado final considerado por norma EG 2000 (%)	36%
Especificación	35% mín.

Debido a que una buena cimentación de un camino necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada. El equivalente de arena para el suelo fue de 36%, este valor está apenas dentro del límite permitido, por consiguiente el contenido de arena limpia es bien bajo, predominando la cantidad de partículas finas.

El suelo en estudio al poseer una alta cantidad de materiales finos, presentará una textura cerrada después de la compactación, lo que lo hace un material difícil a ser imprimado, y por consiguiente será un buen material para poner a prueba el potencial de imprimación de las emulsiones formuladas.

Según los resultados obtenidos en los ensayos anteriores es posible dar la nomenclatura correspondiente al tipo de suelo, en el cuadro 3.4 se muestra tanto la clasificación AASHTO Y SUCS.

Cuadro 3.4: Clasificación del suelo.

Red Vial 1-Cusco	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
Suelo km 46+900	A-1-b (0)	SP-SM

El material en estudio es una arena pobremente gradada con limo y grava, este material será usado como base granular, por lo tanto deberá ajustarse dentro de los usos granulométricos especificados en la norma EG-2000.

En el cuadro 3.5 se muestra las especificaciones para una base granular, de gradación "D".

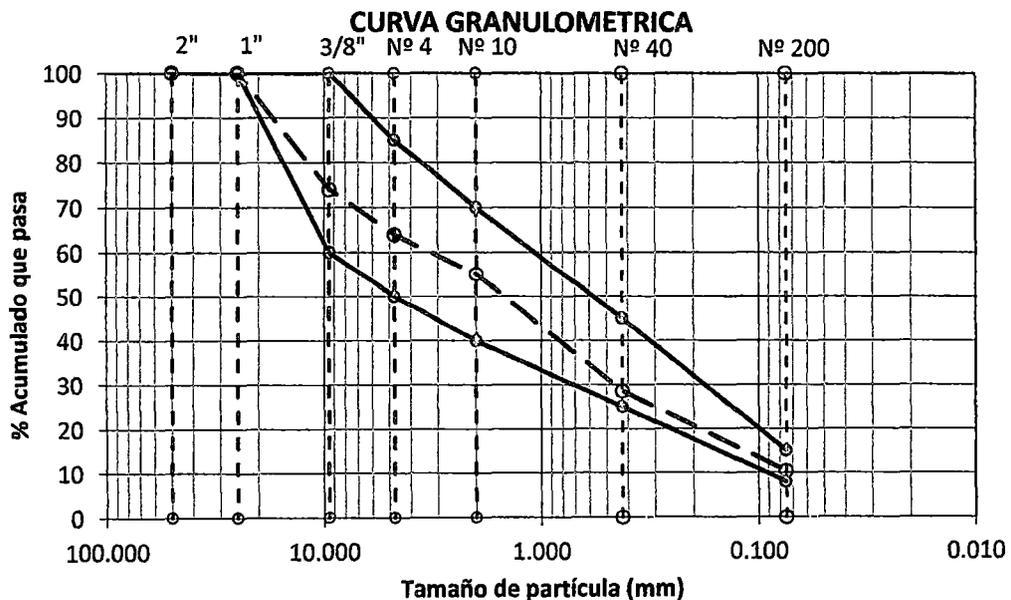
Cuadro 3.5: Especificaciones técnicas para uso del tipo base granular.

Tamices		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación gradación: "D"
pulg.	mm.					
2"	50	0	0	0	100	100 - 100
1"	25	0	0	0	100	100 - 100
3/8"	9.5	300	4.3	26	74	60 - 100
Nº 04	4.75	100	1.4	36	64	50 - 85
Nº 10	2	30	2.1	44.9	55.1	40 - 70
Nº 40	0.425	132	9.4	71.4	28.6	25 - 45
Nº 200	0.075	50	3.6	89.6	10.4	8 - 15
Fondo		20	1.4	91	9	

Fuente: Capítulo 3, EG-2000

En la gráfica 3.1 se muestra la curva granulométrica, en donde se puede observar que el material cumple con el uso granulométrico de gradación "D", el material es el adecuado para formar parte de la capa de base de la Red Vial 1-Cusco.

Gráfica 3.1 Curva granulométrica y especificaciones de la gradación "D".



3.1.4 Ensayo de compactación

El ensayo de compactación permitirá conocer el óptimo contenido de humedad, para alcanzar la compactación máxima en el suelo. Este valor será determinado gracias al ensayo de Proctor modificado.

El método a usar en este ensayo depende de la granulometría del suelo, en el cuadro 3.6 se muestran los métodos correspondientes.

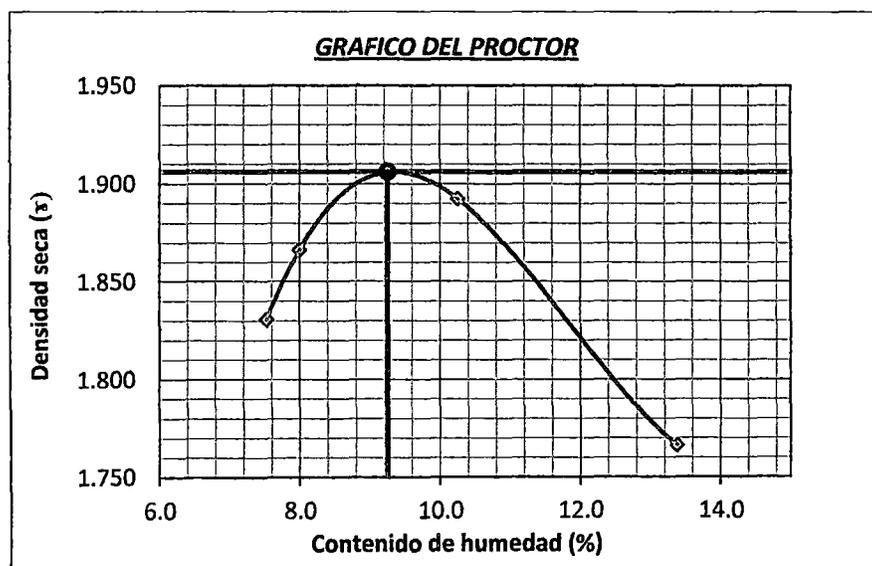
Cuadro 3.6: Métodos de Proctor modificado.

Método	%Acum. Retenido N°4	%Acum. Retenido 3/8"	%Acum. Retenido 3/4"	Material a usar	Molde	N°golpes /capa
A	<= 20%	-	-	Pasa N°4	4"	25
B	> 20%	<= 20%	-	Pasa 3/8"	4"	25
C	-	> 20%	<=30%	Pasa 3/4"	6"	56

Fuente: Manual de ensayos para carreteras (EM 2000)

Se utilizó el método C, en el gráfico 2.2 y cuadro 3.7, se muestra los resultados de los ensayos:

Gráfica 3.2: Gráfica del ensayo Proctor modificado.



Cuadro 3.7: Densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad.

	Valores
Densidad máxima Seca	1.9 gr/cm ³
Óptimo contenido de humedad	9.25 %

El óptimo contenido de humedad es de 9.25 %, es con este valor que se alcanza la densidad máxima seca igual a 1.9 gr/cm³

En la metodología utilizada para la elaboración de los cuerpos de prueba, es necesario compactar los moldes con un contenido de humedad menor, de tal forma que permita alcanzar una densidad seca menor a la máxima, y así obtener un material no muy compactado, en donde se pueda tener una mejor visión del comportamiento imprimante de las emulsiones y por ende un mejor análisis.

3.2 FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE EMULSIONES DE IMPRIMACIÓN

3.2.1 FORMULACIÓN

Formular emulsiones asfálticas es el arte de cuantificar los porcentajes necesarios de los componentes de la emulsión, para que presente propiedades deseadas según el tipo la aplicación que se le asigne.

Las emulsiones asfálticas, en general son formuladas en base a normas en las que se indican los requerimientos necesarios, tanto en sus propiedades como en su elaboración, de tal manera que pueda ser distribuida y ser utilizada en sus distintas aplicaciones.

Las emulsiones de imprimación que se formularon fueron de dos tipos, las emulsiones AEP y emulsiones de imprimación EI.

3.2.1.1 Formulación de emulsiones AEP (Asphalt Emulsión Prime)

Este tipo de emulsiones de imprimación son formuladas a partir de la normativa ASTM D977 (véase anexo I), fueron dos los tipos de emulsiones que se formularon como se muestra en el cuadro 3.8.

Cuadro 3.8: Formulación de emulsiones del tipo AEP.

Componentes	AEP-I	AEP-II
Asfalto	58%	58%
Agua	40.50%	40%
Redicote E-11	1.50%	2%
pH(solución jabonosa)	Sin ajuste	Sin ajuste

Las dos emulsiones fueron formuladas a partir de las recomendaciones de la empresa AkzoNobel (véase anexo II), se tomó los siguientes criterios para determinar los porcentajes tentativos:

- **Asfalto:**

Las emulsiones asfálticas de imprimación necesitan poseer una viscosidad baja, esta propiedad está relacionada con el contenido de asfalto en la emulsión, el asfalto residual según normativa americana será no menor a 57%, por tal motivo se optó por formular las dos emulsiones con un 58% de asfalto.

- **Emulsificante:**

La cantidad de emulsificante determinará la tensión superficial en la emulsión, la emulsión AEP necesita tener una tensión de superficie baja, por consiguiente se necesita un nivel alto de emulsificante, una emulsión con un porcentaje bajo de emulsificante implicaría su rotura prematura y no favorecería a la penetración.

Para formular la emulsión AEP es necesario utilizar un emulsificante anfótero (en un pH ácido se comportan como catiónicos, en pH básico, como aniónicos)

Los valores usados fueron de 1.5% y 2% de Redicote E-11, para las emulsiones AEP-I Y AEP-II respectivamente.

- pH (Solución jabonosa)

El pH de la solución jabonosa según recomendación AkzoNobel, para emulsiones AEP, será aquel que se obtenga sólo con la adición del emulsificante en el agua (sin ajuste).

3.2.1.2 Formulación de emulsiones de imprimación tipo EI

Estas emulsiones se formularon a partir de la normativa chilena, la ficha técnica que se utilizó como guía para la formulación, es la de AsfalChile (véase anexo III), sólo para esta investigación se las denominó como emulsiones del tipo EI (Emulsión de Imprimación)

A diferencia de la formulación de emulsiones AEP, las emulsiones EI fueron formuladas a partir de emulsiones de prueba, con el objeto de verificar la estabilidad al almacenamiento y que no se presente una ruptura prematura, esto debido al bajo porcentaje de asfalto con el que se formularon.

Las emulsiones formuladas fueron en total ocho, cuatro emulsiones de prueba y cuatro emulsiones finales para el análisis.

En el cuadro 3.9 se muestra la formulación de las cuatro emulsiones finales, en donde se observa que la cantidad de asfalto fue constante y existió variación en tanto en el contenido de emulsificante y el pH de la solución jabonosa.

Cuadro: 3.9: Formulación de las emulsiones del tipo EI.

Componentes	EI-I	EI-II	EI-III	EI-IV
Residuo asfáltico	20%	20%	20%	20%
Agua	79.30%	78.70%	79.30%	79.30%
E-11	0.60%	1.20%	0.60%	0.60%
CaCl ₂	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
pH	2	1.5	3	3.5

Se tomó los siguientes criterios para determinar los porcentajes tentativos a cada componente.

- Asfalto: El asfalto residual según normativa chilena será no menor a 20 %. Se formuló las cuatro emulsiones con este valor.

- Emulsificante:

Al igual que las emulsiones del tipo AEP, las emulsiones del tipo EI también fueron formuladas con el emulsificante Redicote E-11, la cantidad de este componente determinará la tensión superficial en la emulsión, estas emulsiones a diferencia de las emulsiones del tipo AEP, fueron formuladas con un bajo porcentaje de asfalto (disminución de la fase dispersa), por consiguiente la demanda de emulsificante es menor.

Inicialmente los valores que se usaron fueron de 0.6% y 1.2%, para las emulsiones EI-I Y EI-II respectivamente y para otras emulsiones de prueba, posteriormente se observó que la emulsión con 1.2% de emulsificante presentó problemas en la estabilidad, por tanto las emulsiones EI-III, EI-IV fueron formuladas con un 0.6% de emulsificante.

Adicionalmente, se usó cloruro de calcio (CaCl_2) como estabilizante tras observar pésimos resultados en cuanto a la estabilidad de las emulsiones de prueba, el porcentaje utilizado fue de acuerdo a las recomendaciones de AkzoNobel (0% -0.1%).

- pH (Solución jabonosa)

Las emulsiones EI-I Y EI-II se formularon con un pH bajo de 1.5 y 2 respectivamente, luego de observar el desempeño en la imprimación de cuerpos de prueba, fueron formuladas las emulsiones EI-III Y EI-IV, con un pH de 3 y 3.5 respectivamente.

3.2.2 DESARROLLO

Las emulsiones asfálticas fueron formuladas en mini-planta, que básicamente está constituido por:

- Molino coloidal
- Vaso de precipitados
- Componentes de la emulsión asfáltica
- Baldes
- pH-metro

En la figura 3.1 se muestra la mini-planta de emulsión asfáltica en la cual se desarrollaron las emulsiones imprimantes.

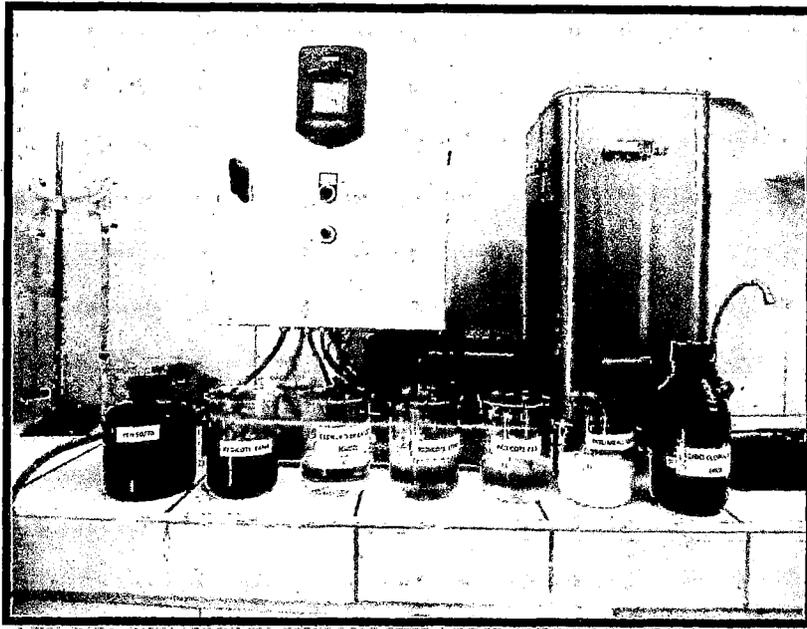


Figura 3.1: Mini-planta – CONCAR - Nasca.

Las emulsiones imprimantes fueron desarrolladas mediante las siguientes etapas:

3.2.2.1 Preparación de la solución jabonosa

El emulsificante (Redicote E-11) se adicionó al agua caliente, agitando hasta su completa disolución. Se ajustó el pH de las emulsiones del tipo EI hasta el valor deseado, y no se alteró para las emulsiones del tipo AEP, en todo este proceso la solución jabonosa estuvo a una temperatura de 40°C.

3.2.2.2 Preparación del asfalto

De manera independiente, el asfalto fue calentado para disminuirle la viscosidad y sea posible su manipulación, hasta una temperatura de 140°C.

3.2.2.3 Emulsificación

Una vez alcanzadas las condiciones de operación necesarias, se alimentó simultáneamente el asfalto y la solución jabonosa al molino coloidal, y se dio origen a las emulsiones de imprimación.

El tamaño de las partículas de asfalto, es un factor vital en la elaboración de una emulsión de imprimación, además de ser determinantes en su estabilidad, entre más pequeñas sean dichas partículas se tendrá una mejor capacidad de penetración, para lo cual se necesitó que la velocidad del molino coloidal sea la máxima, 200Hz (12000rpm).

En la figura 3.2 se muestra la primera emulsión de imprimación, formulada con un 58 % de asfalto.

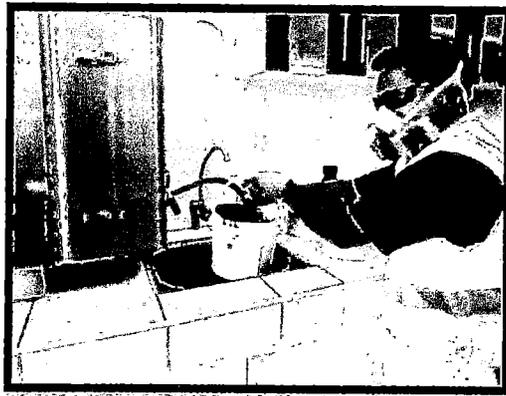


Figura 3.2 Obtención de la emulsión de imprimación AEP.

En la figura 3.3 se muestra el esquema con el cual se desarrolló las emulsiones AEP.

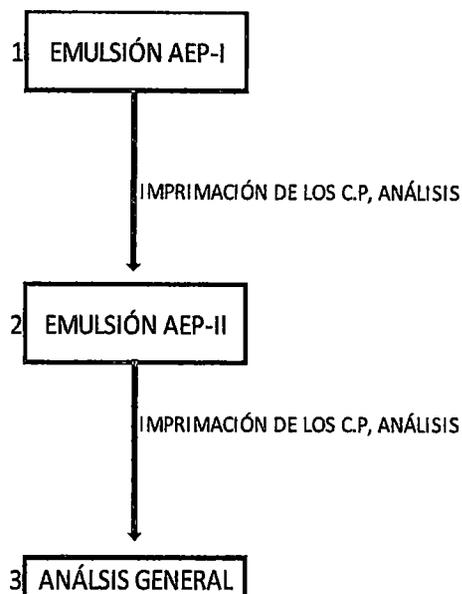


Figura 3.3: Esquemas para las emulsiones del tipo AEP.

En primer lugar se desarrolló una emulsión con un contenido de 1.5% de emulsificante (AEP-I), tras imprimir los cuerpos de prueba y hacer un análisis de penetración, se desarrolló la emulsión AEP-II, variando la cantidad de emulsificante a 2%.

Las emulsiones del tipo EI, por su parte se desarrollaron con el esquema mostrado en la figura 3.4.

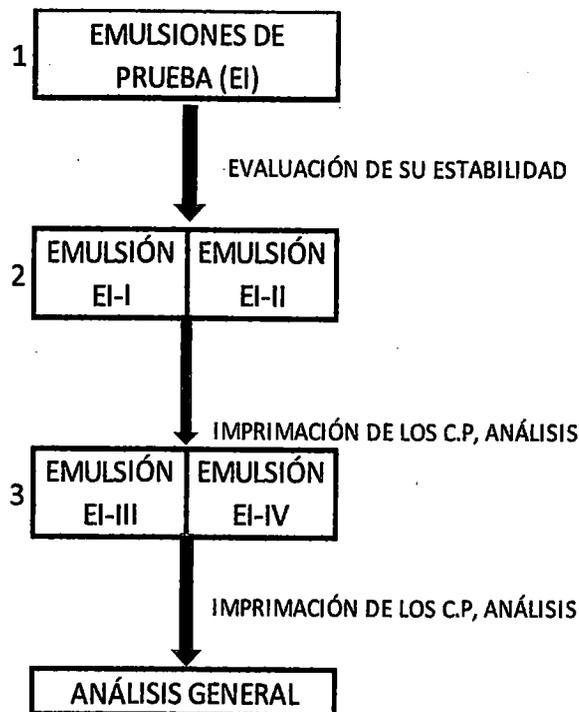


Figura 3.4: Desarrollo de emulsiones del tipo EI.

Las emulsiones EI-I Y EI-II, se desarrollaron después de evaluar previamente la estabilidad de las emulsiones de prueba, y tomando como referencia la cantidad emulsificante que permitía la estabilidad a la emulsión. Luego de imprimir los cuerpos de prueba con las dos emulsiones y realizar el análisis de penetración, se desarrollaron las emulsiones EI-III Y EI-IV, con una variación en el pH y la cantidad de emulsificante para una de ellas, posteriormente se imprimaron los cuerpos de prueba y se procedió a desarrollar el análisis general.

3.3 ENSAYOS DE CALIDAD A LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS DE IMPRIMACIÓN

Los ensayos de calidad que se realizaron, dependieron del tipo de emulsión.

Emulsiones del tipo AEP (ASTM)

- Viscosidad de Saybolt Furol 25°C
- Estabilidad al almacenamiento 24 horas
- Destilación, contenido de asfalto residual
- Prueba del tamiz N°20
- Carga de partícula
- Penetración y Ductilidad al residuo asfáltico

Emulsiones del tipo EI (NCh)

- Viscosidad de Saybolt Furol 25°C
- Densidad
- Destilación, contenido de asfalto residual
- Carga de partícula

Realizar estos ensayos, permite verificar si las emulsiones asfálticas de imprimación, que se desarrollaron, cumplen con los requerimientos mínimos, establecidos en la norma ASTM para las emulsiones AEP y en la normativa chilena (NCh) para las emulsiones EI.

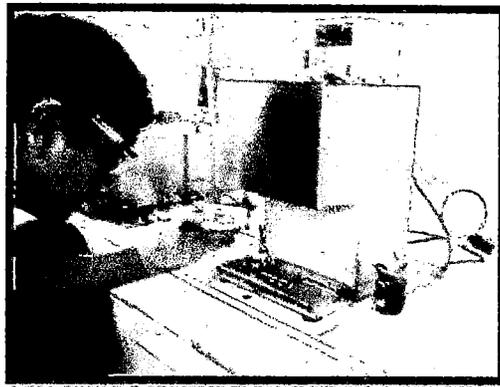


Figura 3.5: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol a 25°C.

En la figura 3.5 se muestra el ensayo de viscosidad que junto con el ensayo de residuo asfáltico, son los más importantes en la investigación.

3.3.1 Ensayos a las emulsiones del tipo AEP

En el cuadro 3.10 y 3.11 se muestran los resultados de los ensayos a las emulsiones AEP-I y AEP-II, y sus respectivas especificaciones.

Cuadro 3.10: Informe de ensayo emulsión AEP-I.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Mín.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	ASTM D 244	28	20	100
Estabilidad al almacenamiento, 24h, %	ASTM D 244	0.3	-	1
Destilación contenido de asfalto residual, %	ASTM D 244	58	57	-
Prueba del tamiz N°20, %	ASTM D 244	0.07	-	0.1
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	
Ensayos sobre el residuo asfáltico				
Penetración, a 25°C, 100g, 0.1 mm	ASTM D5-06E1	56	40	90
Ductilidad, a 25°C, 5 Cm/min, Cm	ASTM D 113-99	> 100	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %Masa	ASTM D 2042-01	99.8	97.5	-

Esta emulsión, alcanzó una viscosidad de 28 sSF, un valor coherente teniendo en cuenta la cantidad de asfalto con la que se formuló (58%). Presentó también buena estabilidad al almacenamiento, por otra parte el contenido de asfalto residual fue de 58%, igual al formulado, lo que hace suponer, que no hubo pérdida de agua en forma de vapor, en el proceso de emulsificación. En cuanto a los ensayos al residuo asfáltico, estos estuvieron también dentro de las especificaciones, por lo tanto la emulsión AEP-I, cumplió con los ensayos de calidad y por consiguiente pudo ser utilizada en la imprimación de los cuerpos de prueba.

Cuadro 3.11: Informe de ensayo emulsión AEP-II.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Mín.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	ASTM D 244	27	20	100
Estabilidad al almacenamiento, 24h, %	ASTM D 244	0.35	-	1
Destilación contenido de asfalto residual, %	ASTM D 244	58	57	-
Prueba del tamiz N°20, %	ASTM D 244	0.07	-	0.1
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	
Ensayos sobre el residuo asfáltico				
Penetración, a 25°C, 100g, 0.1 mm	ASTM D5-06E1	56	40	90
Ductilidad, a 25°C, 5 Cm/min, Cm	ASTM D 113-99	> 100	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %Masa	ASTM D 2042-01	99.8	97.5	-

Esta emulsión presentó una viscosidad de 27 sSF, relativamente menor a la emulsión anterior, también presentó buena estabilidad, la cual pudo ser corroborada luego de observar después de una semana los baldes de las emulsiones, y constatar que los bordes de estos, no presentaban asfalto, producto de la ruptura prematura, que se genera en emulsiones inestables. El residuo asfáltico tampoco se vio modificado al valor de asfalto con la cual fue formulada (58%). A su vez la prueba del tamiz refleja que casi no se encontraron partículas que superen el tamiz N°20, que se forman tras la mala trituración del asfalto por el molino coloidal en el proceso de emulsificación. La emulsión AEP-II también cumplió con los requerimientos mínimos de calidad, y fue usada en el proceso de imprimación.

3.3.2 Ensayos a las emulsiones del tipo EI

Se realizaron los ensayos que generalmente aplican a la emulsiones de imprimación, según la normativa chilena (NCh).

En los cuadros 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 se muestran los resultados de los ensayos realizados a las cuatro emulsiones EI.

Cuadro 3.12: Informe de ensayo emulsión EI-I.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Mín.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	NCh 2334	21	20	60
Densidad (Kg/m ³)	NCh 2333	970	960	980
Destilación contenido de asfalto residual, %	NCh 2347	21	20	-
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	

Las propiedades se encontraron dentro de las especificaciones, la viscosidad fue la deseada, al estar cercana a la mínima, la densidad en un valor promedio, y el residuo asfáltico por destilación se vio modificado mínimamente, teniendo en consideración que se formuló con un 20%.

Cuadro 3.13: Informe de ensayo emulsión EI-II.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Mín.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	NCh 2334	22	20	60
Densidad (Kg/m ³)	NCh 2333	970	960	980
Destilación contenido de asfalto residual, %	NCh 2347	22	20	-
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	

La emulsión EI-II, presentó una viscosidad relativamente mayor a la primera, 22 sSF, producto del incremento del residuo asfáltico a un 22%, debido a la pérdida de agua en el proceso de emulsificación.

Cuadro 3.14: Informe de ensayo emulsión EI-III.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Min.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	NCh 2334	21	20	60
Densidad (Kg/m ³)	NCh 2333	968	960	980
Destilación contenido de asfalto residual, %	NCh 2347	21	20	—
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	

Esta emulsión presento propiedades con valores mínimos, tanto en la viscosidad, densidad y residuo por destilación, fue desarrollada tras tomando en consideración los resultados de la emulsiones anteriores.

Cuadro 3.15: Informe de ensayo emulsión EI-IV.

Ensayo	Método	Resultados del análisis	Especificación	
			Min.	Máx.
Viscosidad SAYBOLT FUROL a 25°C (sSF)	NCh 2334	21	20	60
Densidad (Kg/m ³)	NCh 2333	968	960	980
Destilación contenido de asfalto residual, %	NCh 2347	21	20	—
Carga de partícula	ASTM D 244	Positivo	Positivo	

Al igual que las anteriores emulsiones, la emulsión EI-IV también estuvo dentro de las especificaciones. Los valores de cada propiedad se mantuvieron cercanos a los mínimos.

Las cuatro emulsiones del tipo EI presentaron propiedades similares, no obstante, fueron formuladas con distintos pH, este valor se vio reflejado en la compatibilidad y penetración en el tipo de suelo SP-SM.

Por tanto, todas las emulsiones que se formularon cumplieron con los requerimientos mínimos de calidad, establecidos según las normas con las cuales fueron formuladas,

3.3 ELABORACIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

La metodología que se utilizó, está basada en la metodología brasileña, en la cual se elaboran cuerpos de prueba del suelo en estudio, con una densidad seca menor a la máxima, de forma tal de no compactar demasiado al material, en el caso que éste sea muy fino, y obtener una mejor comparación de la penetración de la emulsiones.

Los cuerpos de prueba fueron elaborados de la siguiente manera:

1. Se seleccionó el material que pase la malla de 3/4".
2. Se obtuvo muestras con peso aproximado a 7 Kg.
3. Se utilizó moldes Proctor de 6", y un martillo de 10 libras. Se procedió a la compactación en 5 capas con 56 golpes cada una, con una humedad de 7.6 %, con la que se obtuvo una densidad seca de 1.805 gr/cm³, representando el 95% de la densidad máxima seca.

Los cuerpos de prueba, se compactaron de forma adecuada y con sumo cuidado, especialmente en las últimas capas, ya que en la etapa de imprimación, se retiró el anillo (del molde), con sumo cuidado para evitar que la muestra se quiebre.

En total se elaboraron 12 cuerpos de prueba, dos para cada emulsión, de forma tal que permitió conocer tanto la penetración como la tasa de aplicación de cada emulsiones.



Figura 3.6: Elaboración de los cuerpos de prueba.

En la figura 3.6 se observa la compactación de los cuerpos de prueba, en el molde Proctor, Si bien es cierto que en algunas metodologías de imprimación, se utiliza moldes más pequeños y una energía de compactación menor. Debido a problemas de retraso en los proveedores de laboratorio no se contó con estos moldes, por lo que se optó realizar las pruebas en el molde Proctor.

3.4 IMPRIMACIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

Los dos cuerpos de prueba para cada emulsión fueron imprimados bajo tasas de 1 lt/m^2 y 1.2 lt/m^2 , de manera que permitió conocer además de la penetración, la tasa de aplicación correcta, vale decir la cantidad de emulsión que admite el tipo de suelo. En la figura 3.7 se muestra el corte que se realizó a todos los cuerpos de prueba para determinar la penetración de cada emulsión.

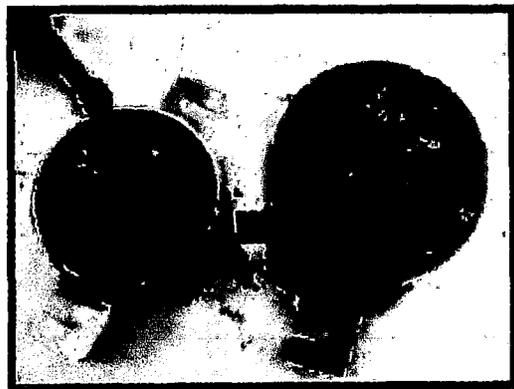


Figura 3.7: Cuerpo de prueba imprimado con emulsión EI-IV.

La imprimación asfáltica en laboratorio, se desarrolló mediante el esquema que se muestra en la figura 3.8

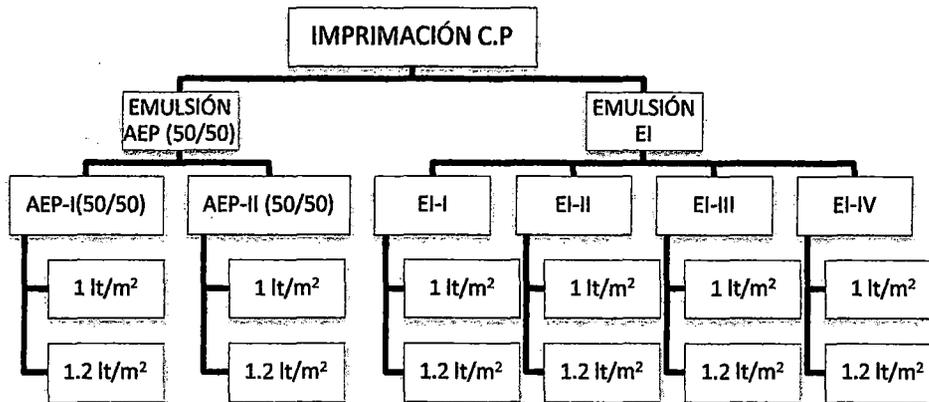


Figura 3.8: Esquema de imprimación asfáltica.

Las emulsiones del tipo AEP antes de su aplicación fueron diluidas en agua en una proporción 50/50 (50% de agua y 50% de emulsión). Según recomendación AEMA (Asphalt Emulsion Manufacturers Association), estas emulsiones que presentan una composición diferente a las emulsiones tradicionales, pueden ser diluidas, sólo para fines de imprimación. El objeto de esta dilución es disminuir el porcentaje de residuo asfáltico final en la emulsión, debido a que la normativa ASTM no permite desarrollar emulsiones con un porcentaje de residuo asfáltico menor a 57%. Mediante esta dilución se logró alcanzar un residuo asfáltico final igual a 29%. A su vez previo a la aplicación de esta emulsión, los cuerpos de prueba fueron humedecidos, según recomendaciones de distintas investigaciones de este tipo de emulsiones.

Por otra parte las emulsiones del tipo EI, fueron aplicadas tal y como se desarrollaron, ya que presentaron un porcentaje de residuo asfáltico bajo, desde la formulación, debido a que la normativa chilena lo permite.

Se utilizó una balanza electrónica digital con precisión de 0.01 gramos y con capacidad máxima de 10 Kg, para el control de la tasa de aplicación.

Los cuerpos de prueba fueron dejados en reposo a temperatura de ambiente, por un periodo de 24 horas después de la imprimación. Este es el periodo establecido para que ocurra la penetración y observar la rotura de la emulsión.

Después del periodo de 24 horas, se observó la interacción de la emulsión con el suelo, la cantidad de material asfáltico en la superficie de los cuerpos de prueba, determinó la tasa de aplicación correcta, al observarse un exceso se determinó que la tasa de aplicación era demasiada y si sucedía lo contrario porque fue escasa.

Después de observar la interacción de la emulsión con el suelo y determinar la tasa de aplicación, se procedió a extraer manualmente el anillo del molde Proctor, junto a la porción de suelo imprimado, la que posteriormente se cortó diametralmente con ayuda de una regla, este proceso se repitió para todos los cuerpos de prueba.

Finalmente se determinó la penetración de la emulsión por el promedio de seis medidas realizadas, con la ayuda de un vernier, a cada muestra imprimada

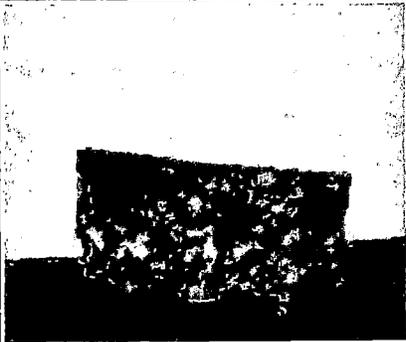
3.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.5.1 Imprimación con emulsiones del tipo AEP

3.5.1.1 Resultados

La emulsión AEP-I (50/50) presentó compatibilidad con el suelo. El cuerpo de prueba que fue imprimado con una tasa de aplicación de 1.2 lt/m^2 , presentó un exceso de asfalto en la superficie, mientras que para una tasa de aplicación de 1.0 lt/m^2 , no se presentó material excedente. La penetración promedio de la emulsión fue de 6.5 mm.

Cuadro 3.16: Penetración de la emulsión AEP-I (50/50).

Emulsión AEP-I	Penetración Promedio	T.A Final
	6.5 mm	1.0 lt/m^2

En el cuadro 3.16 se muestra el cuerpo de prueba cortado diametralmente, además se observa que la penetración no fue del todo uniforme, por tal motivo es que se determinó un valor promedio.

La emulsión AEP-II (50/50), igual a la primera emulsión presentó un mejor desempeño bajo la tasa de aplicación de 1.0 lt/m^2 , presentando una penetración promedio de 7.3 mm, como se muestra en el cuadro 3.17.

Cuadro 3.17: Penetración de la emulsión AEP-II (50/50).

Emulsión AEP-II	Penetración Promedio	T.A Final
	7.3 mm	1.0 lt/m^2

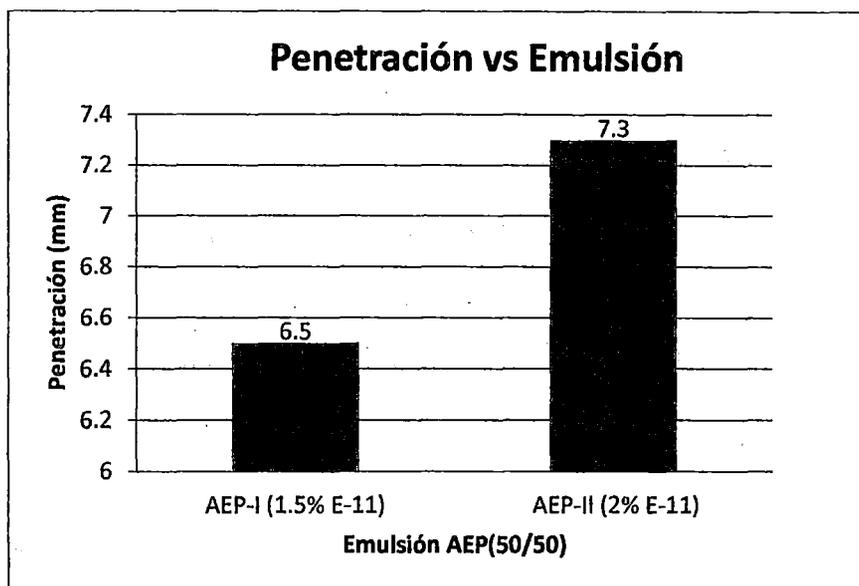
No se presentó material asfáltico excedente en la superficie y la penetración fue uniforme.

3.5.1.2 Análisis

Las emulsiones AEP, presentaron buena compatibilidad e idoneidad con el suelo SP-SM. Ambas con una buena penetración al ser diluidas en una proporción 50/50.

La emulsión que primero se formuló y desarrolló fue la emulsión AEP-I, tras observar los resultados bajo un 1.5% de emulsificante, se desarrolló la emulsión AEP-II, esta es la que tuvo un mejor desempeño al estar formulada con un 2% de emulsificante, como se muestra en la gráfica 3.3, por lo tanto es con este valor que la emulsión adquiere un buen poder de penetración posterior a la dilución.

Gráfica 3.3: Penetración de las emulsiones AEP.



Por otra parte se observó que estas emulsiones, pierden estabilidad luego de la dilución, lo cual hizo que el tiempo entre la disolución y la aplicación sea mínimo.

Un factor muy importante en el desempeño de estas emulsiones fue pre humedecer la superficie del suelo, esto permitió que la emulsión tenga una mejor compatibilidad.

3.5.2 Imprimación con emulsiones del tipo EI

3.5.2.1 Resultados

La emulsión EI-I, no presentó compatibilidad con el suelo, la penetración fue muy baja, alcanzando sólo 1.67 mm en promedio de profundidad, el fenómeno que se suscitaba fue que al momento de imprimir, la emulsión rompía casi inmediatamente tras el contacto con el suelo, quedando depositado gran parte del asfalto en la superficie, creando así una delgada lamina.

En el cuadro 3.18 se muestra el cuerpo de prueba cortado diametralmente en donde se observa la delgada lámina que normalmente es observado en defectuosos procesos de imprimación.

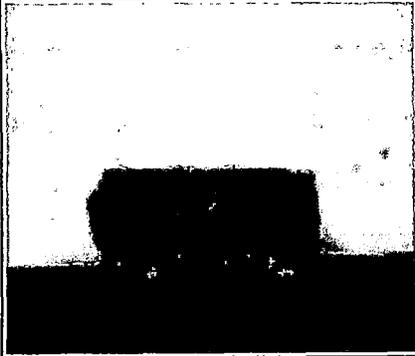
Cuadro 3.18: Penetración de la emulsión EI-I.

Emulsión EI-I	Penetración Promedio	T.A Final
	1.67 mm	NO DEFINIDA

Esta emulsión al no presentar compatibilidad con el suelo, no fue posible determinar su tasa de aplicación, no se pudo lograr una imprimación en la que no se presente un exceso de asfalto en la superficie. Las tasas de aplicación de 1 lt/m^2 y 1.2 lt/m^2 resultaron siendo excesivas debido a la ínfima penetración alcanzada.

La emulsión EI-II, que fue desarrollada junto con la emulsión EI-I, variando la cantidad de emulsificante de 0.6% a 1.2%, presento una penetración menor, generándose el mismo problema del exceso de asfalto en la superficie. En el cuadro 3.19 se muestra el cuerpo de prueba cortado diametralmente después de la imprimación.

Cuadro 3.19: Penetración de la emulsión EI-II.

Emulsión EI-II	Penetración Promedio	T.A Final
	1.5 mm	NO DEFINIDA

Al igual que la emulsión AEP-I, tampoco fue posible establecer una tasa de imprimación adecuada debido a que la emulsión tampoco presentó compatibilidad con el suelo.

Con los conocimientos de los dos primeros resultados se prosiguió a desarrollar las emulsiones EI-III y EI-IV, que presentaron resultados muy distintos a las anteriores.

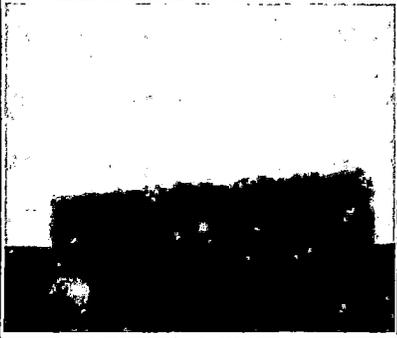
La emulsión EI-III presentó una penetración de 2.3mm, a diferencia de las anteriores, ésta sí presentó compatibilidad con el suelo, no obstante presentó poca penetración. La tasa de aplicación con la cual se alcanzó esta penetración y poco exceso de asfalto en la superficie fue la de 1.0 lt/m² como se muestra en el cuadro 3.20.

Cuadro 3.20: Penetración de la emulsión EI-III.

Emulsión EI-III	Penetración Promedio	T.A Final
	2.3 mm	1.0 lt/m ²

La emulsión EI-IV alcanzó una penetración de 9.1mm, la tasa de aplicación con la cual alcanzó esta penetración fue de 1.2 lt/m², en el cuadro 3.21 se observa que la emulsión presentó buena compatibilidad con el suelo.

Cuadro 3.21: Penetración de la emulsión EI-IV.

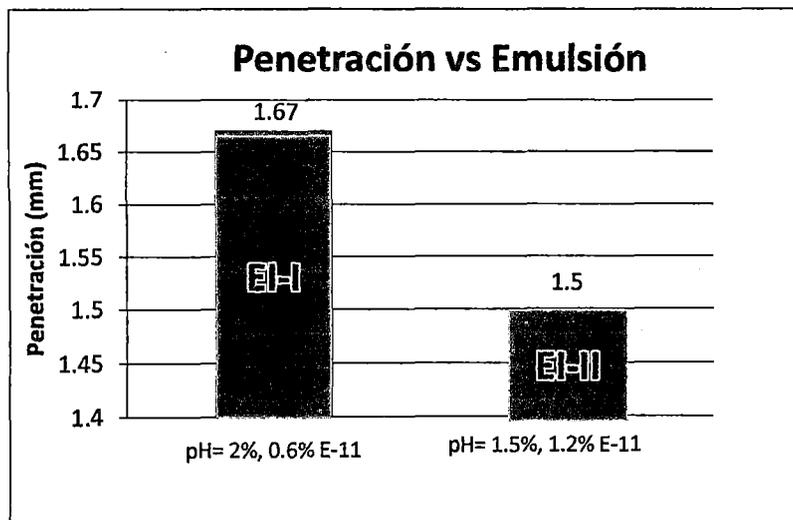
Emulsión EI-IV	Penetración Promedio	T.A Final
	9.1 mm	1.2 lt/m ²

En esta última emulsión, no se observó ningún tipo de lámina de asfalto en la superficie del suelo, observado en las últimas emulsiones producto del exceso de emulsión y la poca penetración.

3.5.2.2 Análisis

Las dos primeras emulsiones, fueron desarrolladas con distintos porcentajes de emulsificante, de 0.6 % y 1.2 %, la emulsión que presentó un mejor desempeño fue la emulsión EI-I, bajo el primer porcentaje de emulsificante. Las dos emulsiones fueron formuladas con un pH bajo y el fenómeno observado fue la ruptura casi inmediata de la emulsión tras el contacto con la superficie del suelo, la cual imposibilitó la penetración del material.

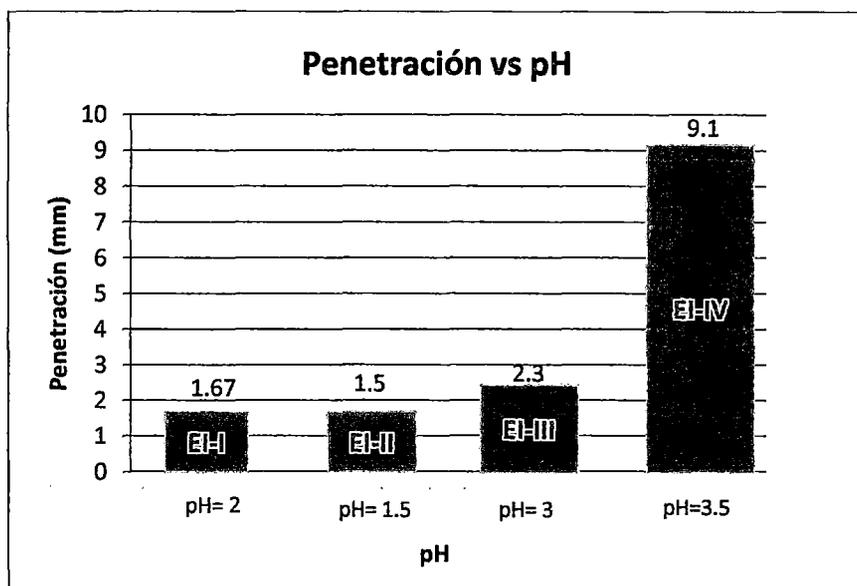
Gráfica 3.4: Penetración de las emulsiones EI-I Y EI-II.



En la gráfica 3.4 se observa que bajo un pH mayor, la emulsión presentó una compatibilidad mejor y por consiguiente una penetración mayor, motivo por el cual las emulsiones EI-III, Y EI-IV fueron elaboradas con valores de pH mayor a 2.

En la gráfica 3.5 se muestra la variación de la penetración con respecto al pH de las emulsiones.

Gráfica: 3.5: Penetración de las emulsiones.



Se observó que bajo un pH=3 la emulsión EI-IV presentó el mejor comportamiento, por tanto es con este valor que la emulsión no presenta una rotura prematura y adquiere un buen poder de penetración, para el suelo SP-SM obtenido en la Red Vial 1-Cusco.

Con las emulsiones de prueba que se desarrollaron en un inicio se observó que con un pH mayor a 4 las emulsiones resultaron inestables, por lo tanto es con un pH= 3 y con un 0.6% de emulsificante (Redicote E-11), que se obtiene una emulsion estable y con un alto poder de penetración.

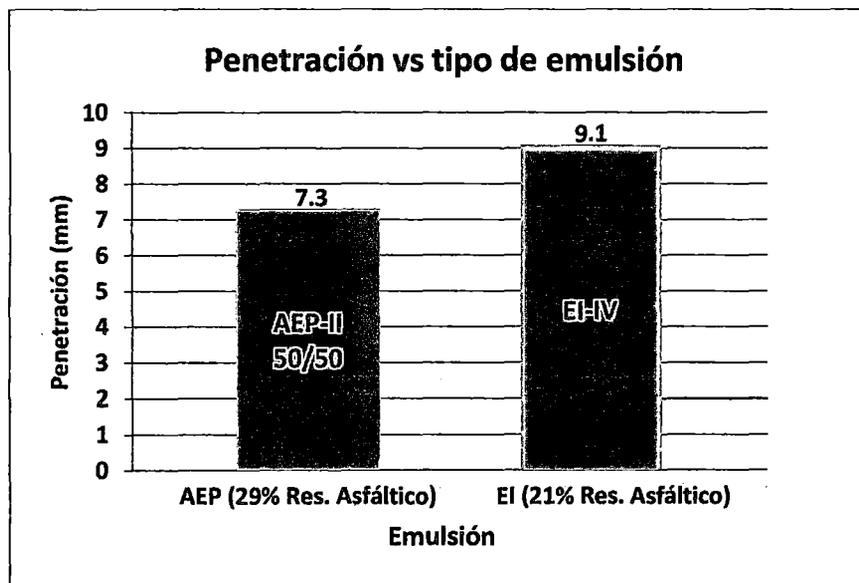
3.5.3 Análisis General

El suelo proveniente de la Red vial 1-Cusco Km 46+900 (SP-SM), es un suelo con alta cantidad de finos, que al ser compactado, resulta ser desfavorable para realizar el servicio de imprimación con emulsiones asfálticas.

Al formular y desarrollar las emulsiones de imprimación, se buscó, mediante la metodología determinar de entre todas las emulsiones asfálticas en estudio, aquella que presente el mejor desempeño para este tipo de suelo, y así tomarla como una emulsión patrón, que posteriormente será comparado con otras emulsiones de imprimación que serán formuladas con características y propiedades distintas, producto del empleo de nuevos emulsificantes y equipos de laboratorio.

Es por tanto la emulsión EI-IV, que presentó una mayor penetración en el suelo SP-SM, superando el desempeño de las emulsiones del tipo AEP, en la gráfica 3.6 se muestra la penetración de ambos tipos de emulsiones.

Gráfica 3.6: Penetración según el tipo de emulsión.



Gran parte del desempeño de la emulsión EI-IV, no se manifiesta principalmente en su viscosidad, sino que está relacionada con el flujo de la dispersión que depende en gran medida del volumen de la fase dispersa (% residuo asfáltico).

En la gráfica 3.6 se observa que la emulsión del tipo AEP, pese a su dilución alcanzó un residuo asfáltico igual a 29%, menor al de la emulsión EI-IV, que presentó un residuo igual a 21%.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1.- El suelo SP-SM del Km 46+900 de la Red Vial 1-Cusco, puede ser usado como material de base. Está constituido principalmente por material fino (arena), que al ser compactado en laboratorio, presenta una textura cerrada, debido a la cantidad de polvo fino que presenta, lo que lo convierte en un material difícil a imprimir.

2.- Es posible formular y desarrollar, para fines de investigación, emulsiones asfálticas de imprimación, bajo distintas normativas, y evaluar posteriormente su desempeño.

3.- La emulsiones AEP formuladas con la normativa ASTM, necesariamente tiene que ser diluidas en agua, para que adquieran, un mayor potencial de imprimación, que depende en gran medida del volumen de la fase dispersa en la mezcla (residuo asfáltico).

4.- La emulsion AEP-II diluida en una proporción 50/50, alcanzó un residuo asfáltico final igual a 29%. Fue la que presentó el mejor comportamiento en la imprimación del suelo, para este tipo de emulsiones, presentando un contenido de emulsificante igual a 1.5%.

5.- Las emulsiones de tipo AEP (50/50), no presentaron problemas de compatibilidad con el suelo en estudio (SP-SM), por tener una formulación diferente a las del tipo EI.

6.- Las emulsiones EI formuladas con la normativa chilena (NCh), son diferentes a las emulsiones AEP, tanto en su formulación como en los procesos de aplicación, éstas presentan un porcentaje asfáltico bajo desde la formulación, y no son diluidas en agua.

7.- El principal problema observado en las emulsiones EI, fue la compatibilidad con el suelo (SP-SM). Fue el ajuste del pH en la solución jabonosa que determinó su posterior compatibilidad.

8.- Las emulsiones EI-I y EI-II, no presentaron compatibilidad con el suelo (SP-SM), lo que ocasionó su rotura casi inmediata en la superficie del suelo, a

diferencia de las emulsiones EI-III y EI-IV, que sí presentaron compatibilidad con el material.

9.- La emulsión del tipo EI que presentó el mejor comportamiento fue la emulsión EI-IV, con una viscosidad de 21 sSF, un porcentaje de residuos de 21%, y bajo el ajuste del pH en la solución jabonosa a 3.5.

10.- En forma general, la emulsión que presentó una mayor capacidad imprimante, para el tipo de suelo en estudio, fue la emulsión EI-IV, logrando una penetración, según las condiciones de la metodología, igual a 9.1 mm.

11.- La obtención de una emulsión de alta capacidad de penetración, se logrará gracias a su viscosidad y porcentaje de residuo asfáltico, estos deberán ser mínimos, según lo permita la normativa con la cual se esté trabajando. Estas propiedades permitirán que las partículas puedan fluir y penetrar sobre el material de base.

4.2 RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda realizar estudios de imprimación asfáltica en campo con las emulsiones AEP-II y EI-IV, de tal manera que permita corroborar los buenos resultados obtenidos en laboratorio, bajo distintas condiciones de aplicación.
- 2.- Al imprimir el suelo con una emulsión diluida AEP, se recomienda regar previamente la superficie del suelo, para que se genere compatibilidad con dicha emulsión.
- 3.- Los estudios se realizaron para el suelo SP-SM, que fue un suelo no plástico, se recomienda seguir la investigación y analizar el comportamiento de éstas emulsiones en suelos plásticos y en otro tipo de suelos especialmente los más finos.
- 4.- En general, es recomendable realizar los estudios en laboratorio, de compatibilidad y penetración de las emulsiones asfálticas desarrolladas, sobre el suelo en estudio, como un análisis previo a la imprimación asfáltica en campo.
- 5.- Las emulsiones asfálticas del tipo AEP, después de ser diluidas en agua, resultan ser inestables, por lo que se recomienda, emplearlas inmediatamente después de diluirlas, de esta manera se evitará su rotura prematura.
- 6.- Obtener una emulsión asfáltica que presente buena compatibilidad y penetración en un determinado tipo de suelo, no garantiza que éste presente los mismos resultados en otro con diferentes características.
- 7.- Desarrollar formulaciones adecuadas para cada emulsión, es un campo altamente especializado que requiere una combinación de experiencia y conocimiento local. Se recomienda que los laboratorios de cada empresa ubicadas en distintos lugares del país, dediquen tiempo en investigar el potencial de imprimación de las emulsiones, que se desarrollen, para distintas materias primas de la zona, con la finalidad de cumplir las especificaciones locales y con las propiedades deseadas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bustos Pretel Gerardo, "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes", España, 2009.
- 2.- Delmar Salomon, "Asphalt Emulsion Technology", Transportation Research Circular, Washington DC, 2006.
3. - Freeman Thomas J., "Develop Guidelines for Effective Prime Coats", Texas Department of Transportation, U.S.A, 2009.
- 4.- Ibañez Aguilera Hector, "Uso de Emulsiones en Pavimentos Asfálticos Calientes y Fríos", Universidad Austral de Chile, Chile, 2003.
- 5.- Logaraj Sundaram, "Formulación de Emulsiones para Imprimación y Riego de liga con bajo contenido de Solventes", CILA, Brasil, 2011.
- 6.- Logaraj Sundaram, Ernzen Tom, Moon-Sun Lin, Hays Todd, "A solution to Asphaltene Handling Problems", Amelia Island, U.S.A, 2011.
- 7.- Mercado Ronal, Bracho Carlos, Avendaño Jorge, "Emulsiones Asfálticas Usos-Rompimientos", Universidad de los Andes-Facultad de Ingeniería Química, Mérida, Venezuela, 2008 .
- 8.- Moreno Emilio, Cabanillas Pilar, "Nuevas Líneas de Investigación en el Campo de las Emulsiones Bituminosas", Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, ESPAÑA, 2011.
- 9.- Peña José luis, "Emulsiones Submicrónicas para Riego de Imprimación", PROBISA, España, 2009.
10. - Redman Adam, "Emulsified Prime Coats & Dust Palliatives", AEMA, U.S.A, 2008.
- 11.- Rodríguez Talavera Rogelio, Castaño Meneses Víctor Manuel, Martínez Miguel Madrid, "Emulsiones Asfálticas", Instituto Mexicano del Transporte, Mexico, 2001.
12. - Senadheera Sansaya, Leaverton Michael, Vignarajah M., "Constructability Review of Surface Treatments Constructed on Base Courses", Texas Department of Transportation, U.S.A, 2007.

13.- Sapel José, Gonzales Ruben, Larizzate Mario, Tejera Roberto, "Emulsiones de Imprimación su Aporte a la Adherencia", Petrobras-Trigesimo Quinta Reunión del Asfalto, Rosario, Argentina, 2008.

14.- Soto José A., Ricón Jesús, "Emulsiones Bituminosas Mercado Mundial y Tendencias de las Técnicas en Frío", España, 2006.

ANEXOS

ANEXO I: ESPECIFICACIÓN ASTM D977



Standard Specification for Emulsified Asphalt¹

This standard is issued under the fixed designation D 977; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers thirteen grades of emulsified asphalt for use in pavement construction in the manner designated.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials²

D 244 Test Methods for Emulsified Asphalts²

3. Requirements

3.1 The emulsified asphalt shall be tested within 14 days of

delivery. The emulsified asphalt shall be homogeneous after thorough mixing provided separation has not been caused by freezing. Emulsified asphalts separated by freezing shall not be tested.

3.2 Emulsified asphalt shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

4. Sampling

4.1 Samples of emulsified asphalt shall be taken in accordance with Practice D 140.

4.2 Samples shall be stored in clean, airtight sealed containers as specified in Practice D 140 at a temperature of not less than 4°C) until tested.

5. Test Methods

5.1 The properties of the emulsified asphalts given in Table 1 shall be determined in accordance with Test Methods D 244.

6. Keywords

6.1 anionic; emulsion; emulsified asphalt; high float; medium setting; rapid setting; slow setting

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.41 on Emulsified Asphalt Specifications.

Current edition approved Dec. 10, 1998. Published March 1999. Originally published as D 977 – 48 T. Last previous edition D 977 – 97.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

TABLE 1 Requirements for Emulsified Asphalt

NOTE 1—QS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in D 3910 Standard Practices for Design, Testing and Construction of Slurry Seal.

NOTE 2—QS-1h is used for Quick Set Slurry Seal systems.

Type	Rapid-Setting						Medium-Setting						
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
<i>Tests on emulsions:</i>													
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	...	...	...	...	20	100	100	...	100	...
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...
Storage stability test, 24-h, % ^A	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	
Demulsibility, 35 ml, 0.02 N CaCl ₂ , %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...
<i>Coating ability and water resistance:</i>													
Coating, dry aggregate	...	...	...	...	...	...	good	...	good	...	good	...
Coating, after spraying	...	...	...	...	...	...	fair	...	fair	...	fair	...
Coating, wet aggregate	...	...	...	...	...	...	fair	...	fair	...	fair	...
Coating, after spraying	...	...	...	...	...	...	fair	...	fair	...	fair	...
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Sieve test, % ^A	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	
Residue by distillation, %	55	...	63	...	63	...	55	...	65	...	65	...	
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>Tests on residue from distillation test:</i>													
Penetration, 77°F (25°C), 100g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90	
Ductility, 77°F, (25°C), 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	
Float test, 140°F (60°C), s	...	...	...	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

Type	Medium-Setting						Slow-Setting				Quick Setting				
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		QS-1H		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
<i>Tests on emulsions:</i>															
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	100	...	100	...	50	...	20	100	20	100	20	100	
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Storage stability test, 24-h, % ^A	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	...
Demulsibility, 35 ml, 0.02 N CaCl ₂, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>Coating ability and water resistance:</i>															
Coating, dry aggregate	good	...	good	...	good	...	good	...	...	...	...	...	...	...
Coating, after spraying	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...
Coating, wet aggregate	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...
Coating, after spraying	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	2.0	...	2.0	...	...	N/A
Sieve test, % ^A	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	
Residue by distillation, %	55	...	65	...	65	...	65	...	57	...	57	...	57	...	
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	1	7	...	...	...	...	...	...
<i>Tests on residue from distillation test:</i>															
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200	...	100	200	40	90	40	90	
Ductility, 77°F, (25°C), 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	
Float test, 140°F (60°C), s	1200	...	1200	...	1200	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

^AThis test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.



The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

ANEXO II: REDICOTE E-11 AKZONOBEL



Technical Information

Asphalt Applications

REDICOTE® E-11

Application Emulsifier for cationic slow-setting asphalt emulsions. Break control additive for slurry surfacing.

Advantages

- *Good Quality Emulsions at Low Use Levels:* Redicote E-11 gives emulsions of good quality with a wide range of asphalts at a relatively low use level. Emulsion viscosity and storage stability are typically better than other CSS emulsifiers.
- *Slurry Seal:* Emulsions prepared using Redicote E-11 provide mix time with a variety of aggregates and the strong cationic nature of the emulsifier ensures good water resistance of the seal.
- *Easy Handling:* The low viscosity, low pour point and water solubility of Redicote E-11 makes it easy to use both as emulsifier and as a break control additive (retarder) for slurry.

Typical Emulsion Formulation		CSS-1h
	Asphalt	57+
	Redicote E-11	0.6 - 1.2
	Hydrochloric acid*	0 - 0.02
	pH soap	2.0 - 6.0
	Calcium chloride	0 - 0.1
	Water	to 100

*22°Baume or 35% wt. %

Physical Properties	Appearance at 25°C	yellow liquid				
	Pour point, °C	-15 (5°F)				
	Cloud point, °C	-10 (14°F)				
	Flash point, °C	12 (54°F)				
		10	20	30	40	°C
		50	68	86	104	°F
	Viscosity, mPa.s (cP)	72	43	40	37	
	Density, g/cc	0.94	0.93	0.92	0.91	
	Density, lbs./gal	7.79	7.71	7.64	7.57	

See reverse for additional data

Storage and Handling Redicote E-11 contains 2-propanol, keep away from sources of ignition. Redicote E-11 contains water and chloride ion and 316 and 317L stainless steels or glass or polymer lined tanks are recommended. Bulk storage need not be heated.

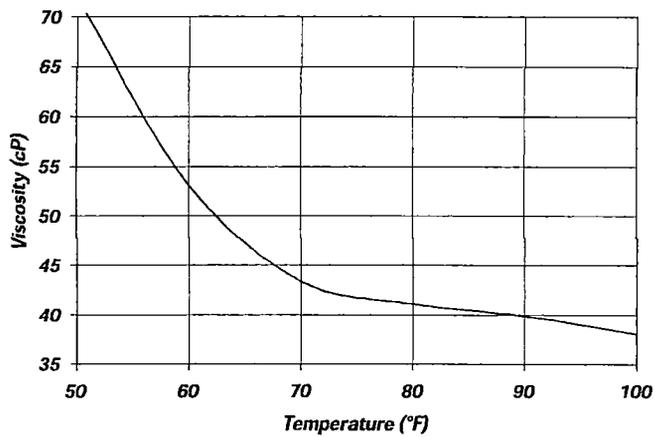
Redicote E-11

Redicote E-11 contains quaternary amines and may cause severe irritation or burns to skin and eyes. Protective goggles and gloves must be worn when handling this product. For further information consult the Material Safety Data Sheet.

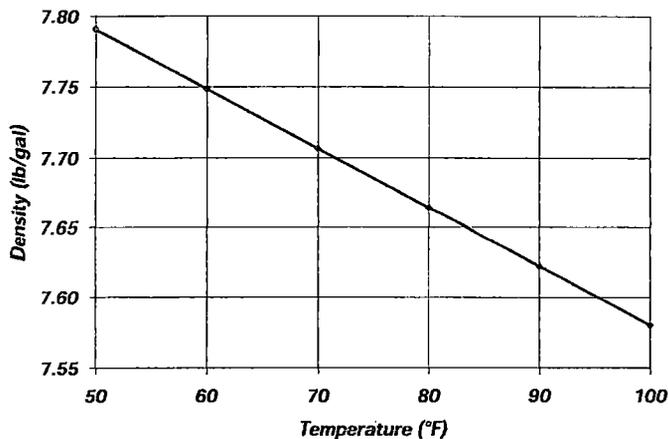
Packaging Information

Redicote E-11 is available in bulk shipments or in 55-gallon tight head drums of 415 lbs. (189kg) net weight.

Viscosity vs. Temperature



Density vs. Temperature



All information concerning this product and/or suggestions for handling and use contained herein are offered in good faith and are believed to be reliable. Akzo Nobel Chemicals Inc., however, makes no warranty as to the accuracy and/or sufficiency of such information and/or suggestions, as to the product's merchantability or fitness for any particular purpose, or that any suggested use will not infringe any patent. Nothing contained herein shall be construed as granting or extending any license under any patent. Buyer must determine for himself, by preliminary tests or otherwise, the suitability of this product for his purposes. The information contained herein supersedes all previously issued bulletins on the subject matter covered.

ANEXO III: ASFALCHILE- FICHA TÉCNICA

MOBIL E-PRIME

Descripción

Emulsión asfáltica, de color café oscuro y estado líquido, diseñada y formulada especialmente para imprimaciones de bases granulares.

Propiedades y Ventajas

Es un producto de baja viscosidad, que permite temperaturas de aplicación menores a las de imprimaciones tradicionales; puede aplicarse a temperatura ambiente.

Se puede aplicar en bases secas y húmedas. Posee características de seguridad de manipulación y transporte, a lo que se agregan comprobados beneficios ambientales por su bajo nivel de emanaciones.

Su rapidez de secado, habilidad de penetración y adherencia a bases con distintos tipos de áridos, permite un intervalo de tiempo mucho más corto entre la imprimación y la aplicación de mezclas en caliente o tratamientos superficiales, los que pueden realizarse dentro de 24 horas, al contrario de imprimantes convencionales en los cuales el período de espera puede ser de hasta 72 horas.

Especificaciones

Mobil E-Prime producido por Asfaltos Chilenos S.A. cumple con estrictas normas internacionales, establecidas especialmente para las necesidades de desarrollo del producto, las cuales han sido validadas por la Dirección de Vialidad.

Aplicaciones

► Para imprimaciones de un amplio rango de materiales de bases compactadas y estabilizadas. Previo a la aplicación y si ésta se interrumpiera por más de 2 horas, se debe recircular el producto para mantener su homogeneidad. La aplicación se puede realizar a temperatura ambiente y en caso de ser necesario calentar el producto, se recomienda no sobrepasar los 45°C.

Rendimientos

► Dependiendo de la porosidad de la superficie de la base, la dosis a aplicar es entre 0,8 a 1,2 L/m²

Suministro y Almacenamiento

Se comercializa a granel en camiones estanque de 25 toneladas. Para períodos de almacenamiento prolongado (1 mes), sin uso, se recomienda recircular al menos 1 vez por semana. En caso de almacenamiento por más de 3 meses, se debe homogeneizar el producto y enviar una muestra a laboratorio para análisis, previo a su uso. Para las operaciones de carga y descarga, es necesario verificar si los estanques están suficientemente limpios, a fin de eliminar cualquier grado de contaminación. No debe mezclarse con otros productos tales como asfaltos cortados y emulsiones de distintos grados o polaridad, como tampoco de distintos proveedores.

Seguridad

Se recomienda contar con el equipo de seguridad industrial adecuado, en el manejo de productos asfálticos.

Para mayor información, remitase a la Hoja de Datos de Seguridad del producto.

Especificaciones Mobil E-Prime

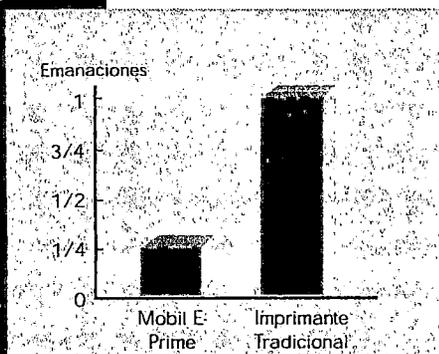
ENSAYOS	VALORES TÍPICOS		ESPECIFICACIONES		NORMA
	MOBIL E-PRIME	MIN.	MAX.		
Viscosidad a 25°C. (SSU)	48	20	60		NCh2334
Densidad (kg/m ³)	970	960	980		NCh2333
Punto de Inflamación (°C)	+100	100			NCh2338
Destilación:					
Residuo (%)	32	20			NCh2347
Aceite (%)	12		15		NCh2347
Al residuo:					
Flotación a 50°C (s)	108	60			ASTM D-139

Tabla de aplicaciones recomendadas para imprimación

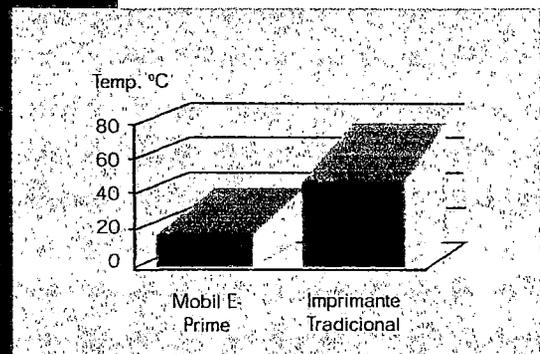
CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TASA DE APLICACIÓN PARA MOBIL E-PRIME (L/m ²) (1)	TEMPERATURA DE APLICACIÓN (2)
Cerrada	0.8-0.9	30°C aprox.
Estándar	1.0	20°C aprox.
Abierta	1.0-1.2	20°C aprox.

- (1) Se recomienda determinar la tasa de aplicación final de acuerdo a las condiciones existentes en terreno.
 (2) Esta temperatura podrá ser inferior de acuerdo a las condiciones observadas en la base.

Beneficios Ambientales



Rango de Temperaturas de Aplicaciones



NOTA: La información proporcionada se basa en ensayos considerados adecuados, seguros y correctos, según la experiencia de ASFALCHILE. Sin embargo las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos. ASFALCHILE se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

ANEXO IV: CERTIFICADOS

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS.

Concar

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.
NORMA : MTC E 107-2000

PROYECTO INVESTIGACIÓN

ING. RESP.

TRAMO 4 : II

TECNICO : W.A.S.R

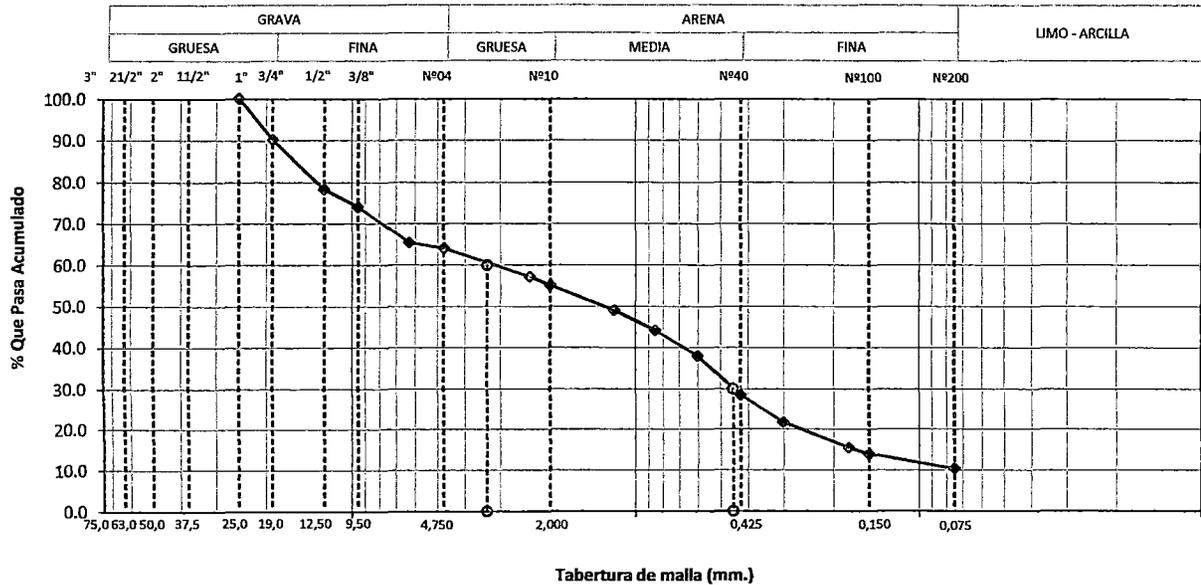
UBICACIÓN : KM 46+900 (RED VIAL 1 CUSCO)

USO : BASE GRANULAR

FECHA : 12/11/2012

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO		% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
(PULG)	(mm)		PARCIAL	ACUMULADO		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL : 7000.0 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 6480.0 g.
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO DE FRACCIÓN FINA : 900 g.
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	LÍMITE LÍQUIDO : 19.5 %
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	LÍMITE PLÁSTICO : N.P. %
3/4"	19.000	700.0	10.0	10.0	90.0	ÍNDICE PLASTICIDAD : N.P. %
1/2"	12.500	819.4	11.7	21.7	78.3	CLASIFICACIÓN AASHTO : A-1-b(0)
3/8"	9.500	300.0	4.3	26.0	74.0	CLASIFICACIÓN SUCS : SP-SM
1/4"	6.300	602.6	8.6	34.6	65.4	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº04	4.750	100.0	1.4	36.0	64.0	Arena pobremente gradada con limo y grava
Nº08	2.360	95.3	6.8	42.8	57.2	
Nº10	2.000	30.0	2.1	44.9	55.1	Ensayo Malla Nº 200 : 7.4 %
Nº16	1.190	86.1	6.1	51.1	48.9	P.S. Seco : 7000.0 P.S. Lav.: 6480
Nº20	0.850	66.7	4.7	55.8	44.2	Humedad Natural : 8.5 %
Nº30	0.600	87.9	6.2	62.0	38.0	P.S.HUM.: 7000 P.S.SECO: 6450
Nº40	0.425	132.0	9.4	71.4	28.6	
Nº50	0.300	96.8	6.9	78.3	21.7	Coef. Uniformidad : 334878
Nº80	0.177	87.0	6.2	84.5	15.5	Coef. Curvatura : 6090.3
Nº100	0.150	21.7	1.5	86.0	14.0	
Nº200	0.075	50.0	3.6	89.6	10.4	
< Nº200	FONDO	20.0	1.4	91.0	9.0	

CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACION

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BASE; Sección 305: Base Granular.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Elaborado por:
 Fecha de reporte:

Téc. W.ALFREDO SAAVEDRA RAMOS
 Nazca, 12 de Noviembre del 2012.

W. Alfredo Saavedra Ramos
 TEC. LABORATORIO

	ENSAYO: EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS			GO-CC-SyP-FOR-003
	NORMA: ASTM D2419 / MTC E 114 / EG 2000 / ISSA A 105			Revisión 01
Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
NMA	LSA	WOB	26/10/2012	1 de 1

PROYECTO : INVESTIGACIÓN **MUESTRE** : KM: 46+900 **ING. RESP.**
TRAMO : II **TECNICO** : W.A.S.R
UBICACIÓN : 46 + 900 (RED VIAL 1 CUSCO) **USO** BASE GRANULAR **FECHA** : 12-11-12

Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
Hora de entrada a saturación	0:00:00	0:03:00	0:06:00	
Hora de salida de saturación	0:10:00	0:13:00	0:16:00	
Hora de entrada a decantación	0:11:40	0:14:40	0:17:40	
Hora de salida de decantación	0:31:40	0:34:40	0:37:40	
Lectura de arcilla	119	127	119	
Lectura de arena	42	45	41	
Porcentaje de equivalente de arena	35.3	35.4	34.5	35.1

Resultado final considerado por norma EG 2000 (%)	36 %
--	-------------

ESPECIFICACION : 35,0 % Min.

OBSERVACION :

- 1.- Agregado fino proveniente de la Cantera: KM 46+900
- 2.- Agregado fino muestreado por el personal de laboratorio.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Elaborado por: Tec. W. Alfredo Saavedra R.
 Fecha de reporte: 12/11/2012


 W. Alfredo Saavedra Ramos
 TEC. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos
 Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Víctor Zuñiga Anaya
 Personal del Área de Control de Calidad

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELO, CONCRETO Y PAVIMENTOS.

Concear

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.
NORMA : MTC E 107-2000

PROYECTO INVESTIGACIÓN

ING. RESP. : R.M

TRAMO 4 II

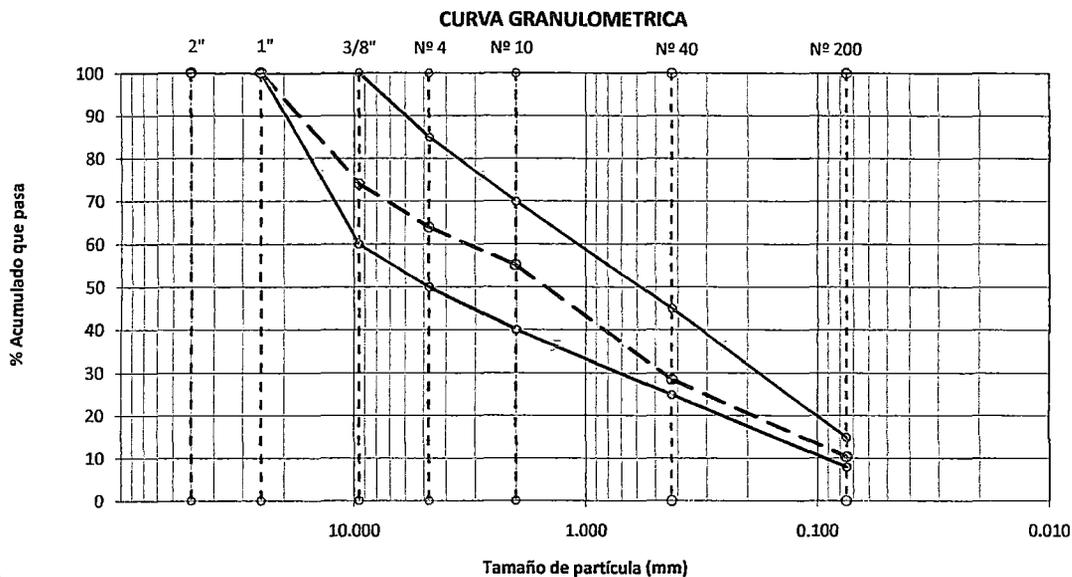
TECNICO : W.A.S.R

UBICACIÓN : KM 46+900 (RED VIAL 1 CUSCO)

USO : BASE GRANULAR

FECHA : 12/11/2012

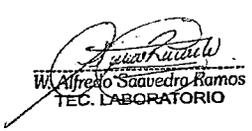
TAMICES		PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	% RETENIDO ACOMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES GRADACION: "D"	
Pulg.	mm.						
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100	
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100	
3/8"	9.500	300.0	4.3	26.0	74.0	60 - 100	
Nº 04	4.750	100	1.4	36.0	64.0	50 - 85	
Nº 10	2.000	30	2.1	44.9	55.1	40 - 70	
Nº 40	0.425	132	9.4	71.4	28.6	25 - 45	
Nº 200	0.075	50	3.6	89.6	10.4	8 - 15	
Fondo		20.0	1.4	91.0	9.0		
Peso Muestra Seca:		15407.0	g.	Fracción fina:		852.4 g.	
Tamaño máximo del agregado						pulg.	2"
Tamaño máximo nominal del agregado						pulg.	1"



OBSERVACION

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BASE; Sección 305: Base Granular.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Elaborado por: Téc. W.ALFREDO SAAVEDRA RAMOS
 Fecha de reporte: Nasca 12 de Noviembre del 2012


 W. Alfredo Saavedra Ramos
 T.E.C. LABORATORIO

	INFORME DE ENSAYO EMULSIÓN DE ROTURA LENTA CSS-1h				GO-CC-EMU-INF-007
					Revisión 00
	Elaborado por:	Revisado por :	Aprobado por:	Fecha	Página
DEJ	LSA	LSA	06/12/2012	1 de 1	

INFORME DE ENSAYO CSS-1h

Nº DE ORDEN DE PRODUCCIÓN	FECHA DE MUESTREO Y EVALUACIÓN	FECHA DE REPORTE:
-	12.11.2012	05.12.2012
PRODUCTO	TANQUE	Nº LOTE
EMULSIÓN DE RUPTURA LENTA CSS-1h-P	Mínipianta	-

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Mín.	Máx.
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25°C (SFS)	ASTM D 244	21	20	100
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24H, %	ASTM D 244	0.35	-	1
MEZCLA CON CEMENTO, %	ASTM D 244		-	2
DESTILACIÓN CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL, %	ASTM D 244	58.0	57	-
PRUEBA DEL TAMIZ N°20, %	ASTM D 244	0.07	-	0.1
CARGA DE PARTICULA	ASTM D 244	POSITIVO	POSITIVO	

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO ASFALTICO

PENETRACIÓN, a 25°C, 100g, 0.1 mm	ASTM D5-06E1	56.0	40	90
DUCTILIDAD, a 25°C, 5 Cm/min, Cm	ASTM D 113-99	> 100	40	-
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, %Masa	ASTM D 2042-01	99.8	97.5	-

OBSERVACIONES :

- Los Resultados solo corresponden a la muestra Analizada
- Producto dentro de especificaciones
- El presente Certificado corresponde a un tema de investigacion (Tesis)
-

COD. MUESTRA:

ORIGINAL : CLIENTE COPIA 1 : LABORATORIO COPIA 2 : ARCHIVO	ELABORADO POR	APROBADO POR
	 VICTOR HUGO ZUÑIGA ANAYA ASISTENTE QUIMICO	 LUCIA SAEZ ALVÁN JEFE DE CONTROL DE CALIDAD

	INFORME DE ENSAYO EMULSIÓN DE ROTURA LENTA CSS-1h				GO-CC-EMU-INF-007
					Revisión 00
	Elaborado por:	Revisado por :	Aprobado por:	Fecha	Página
	DEJ	LSA	LSA	30/01/2012	1 de 1

INFORME DE ENSAYO CSS-1h

Nº DE ORDEN DE PRODUCCIÓN	FECHA DE MUESTREO Y EVALUACIÓN	FECHA DE REPORTE:
-	12.11.2012	05.12.2012
PRODUCTO	TANQUE	Nº LOTE
EMULSIÓN DE RUPTURA LENTA CSS-1h-P	Miniplanta	-

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Min.	Máx.
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25°C (SFS)	ASTM D 244	27	20	100
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24H, %	ASTM D 244	0.3	-	1
MEZCLA CON CEMENTO, %	ASTM D 244		-	2
DESTILACIÓN CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL, %	ASTM D 244	58.0	57	-
PRUEBA DEL TAMIZ N°20, %	ASTM D 244	0.07	-	0.1
CARGA DE PARTICULA	ASTM D 244	POSITIVO	POSITIVO	

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO ASFALTICO

x	ASTM D5-06E1	56.0	40	90
DUCTILIDAD, a 25°C, 5 Cm/min, Cm	ASTM D 113-99	> 100	40	-
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, %Masa	ASTM D 2042-01	99.8	97.5	-

OBSERVACIONES :

1. Los Resultados solo corresponden a la muestra Analizada
2. Producto dentro de especificaciones
3. El presente Certificado corresponde a un tema de investigacion (Tesis)
- 4.

COD. MUESTRA:

ORIGINAL : CLIENTE COPIA 1 : LABORATORIO COPIA 2 : ARCHIVO	ELABORADO POR	APROBADO POR
		
	VICTOR HUGO ZUÑIGA ANAYA ASISTENTE QUIMICO	LUCIA SAEZ ALVÁN JEFE DE CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO : DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
 NORMA : MTC E 110-2000 / MTC E 111-2000

PROYECTO INVESTIGACIÓN

ING. RESP.

TRAMO 4 : II

TECNICO : W.A.S.R

UBICACIÓN : KM 46+900 (RED VIAL 1 CUSCO)

USO : BASE GRANULAR

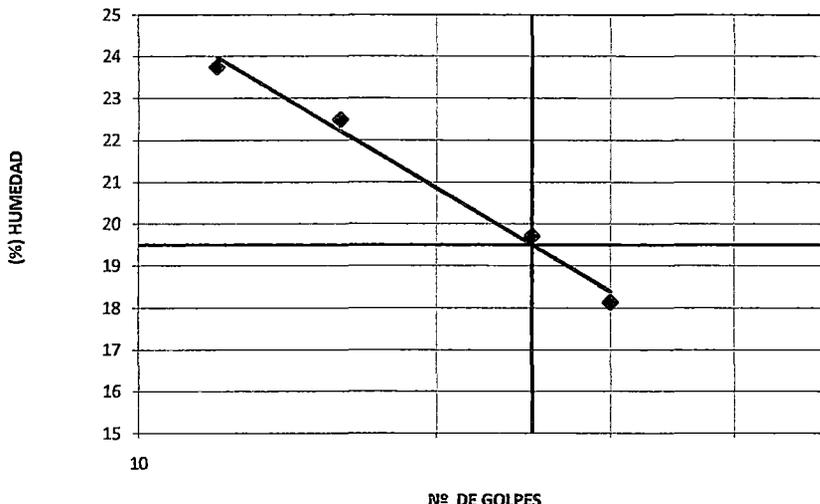
FECHA 12/11/2012

DATOS DE ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO
	1	2	3	4	
Nº de tarro	1	2	3	4	NP
Nº de golpes	30	25	16	12	
Tarro + suelo húmedo g.	33.1	30.4	27.82	28.2	
Tarro + suelo seco g.	30.06	27.7	25.1	25.30	
Agua g.	3.04	2.7	2.72	2.90	
Peso del tarro g.	13.3	14	13	13.08	
Peso del suelo seco g.	16.76	13.7	12.1	12.22	
Porcentaje de humedad %	18.14	19.71	22.48	23.73	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	19.5 %
Límite Plástico	N.P. %
Índice de Plasticidad	N.P. %

ESPECIFICACION: IP: 4,0 % Máx.

CURVA DE FLUIDEZ



OBSERVACION

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BASE; Sección 305: Base Granular.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Elaborado por: Téc. W.ALFREDO SAAVEDRA RAMOS
 Fecha de reporte: Nazca 12 de Noviembre del 2012

W. Alfredo Saavedra Ramos
 W. Alfredo Saavedra Ramos
 TEC. LABORATORIO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELO, CONCRETO Y PAVIMENTOS.

Concar

ENSAYO : COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie³)
REFERENCIA : ASTM D-1557/ MTC E 115.

PROYECTO : INVESTIGACIÓN

ING. RESP. 0

TRAMO : II

TECNICO : W.A.S.R

UBICACIÓN : KM 46+900 (RED VIAL 1 CUSCO)

USO : BASE GRANULAR

FECHA : 19/11/12

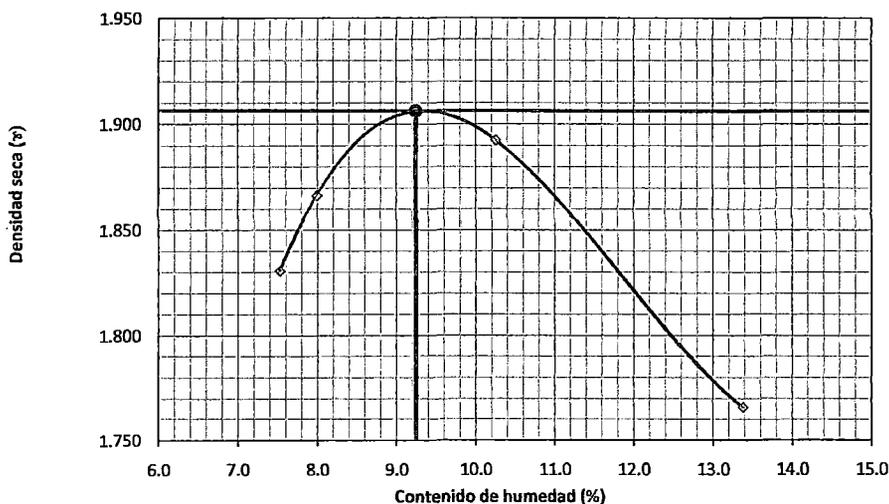
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10424	10524	10675	10496
Peso del molde	g.	6233	6233	6233	6233
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4191	4291	4442	4263
Volumen del molde	cm ³	2129	2129	2129	2129
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.969	2.016	2.086	2.002

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	201	201	201	201
Peso del suelo seco + tara	g.	194	193.6	191.7	189.2
Peso de tara	g.	101.0	101.0	101.0	101.0
Peso de agua	g.	7	7.4	9.3	11.8
Peso de suelo seco	g.	93	92.6	90.7	88.2
contenido de agua	%	7.5	8.0	10.3	13.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.831	1.866	1.892	1.766

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.906	g/cm ³
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	9.25	%

GRAFICO DEL PROCTOR



OBSERVACIÓN:

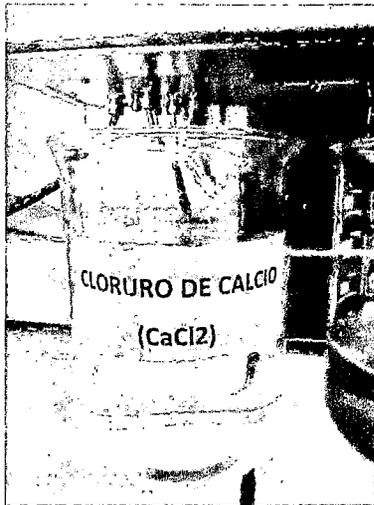
- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Elaborado por: **Téc. W.ALFREDO SAAVEDRA RAMOS**
 Fecha de reporte: **Nazca, 19 de Noviembre del 2012.**

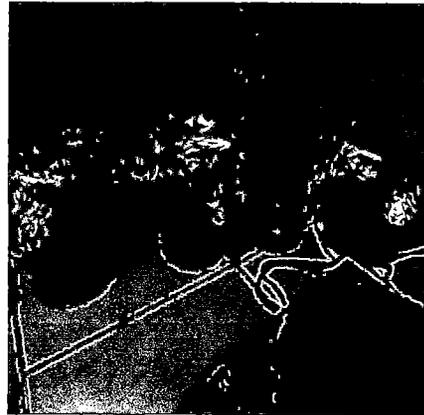
W. Alfredo Saavedra Ramos
 T.E.C. LABORATORIO

ANEXO V: GALERIA DE FOTOS

1.- Producción de Emulsión asfáltica



Componente de la solución jabonosa, estabilizante (CaCl₂)



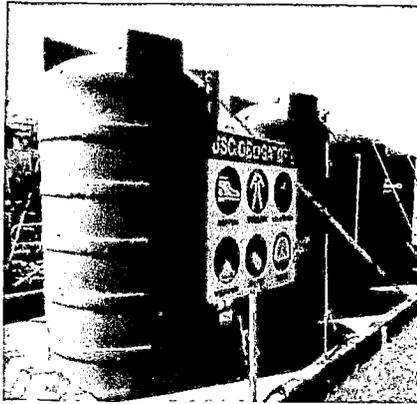
Emulsificantes utilizados para la producción de emulsiones asfálticas



Asfalto para producción PEN 60/70



Ácido clorhídrico para ajuste de pH de la solución jabonosa



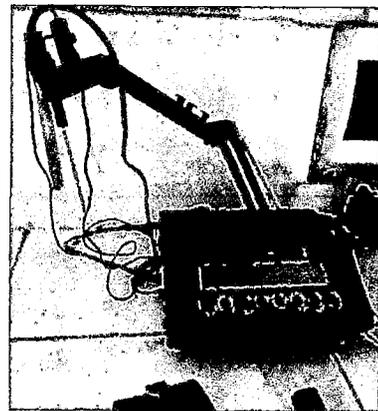
Almacenamiento de agua para la producción de emulsión asfáltica



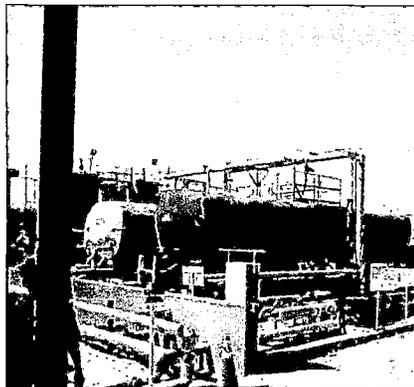
Características de la emulsión Asfáltica inmediatamente después de ser producida



Frecuencia de 199.5 Hz (Máximo) con la cual trabajo el molino coloidal para la elaboración de las emulsiones asfálticas para el estudio (mini planta)



pH- metro(miniplanta)

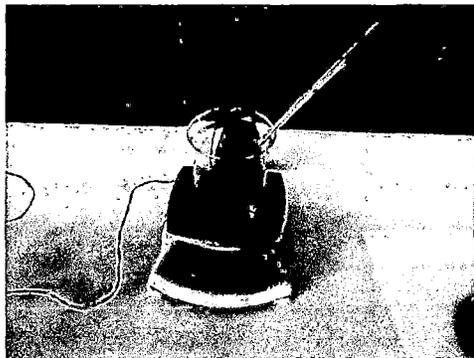


Tanque de almacenamiento de asfalto (planta de emulsión)



Tanque de Almacenamiento (planta de emulsión)

2.-Ensayos a las emulsiones asfálticas



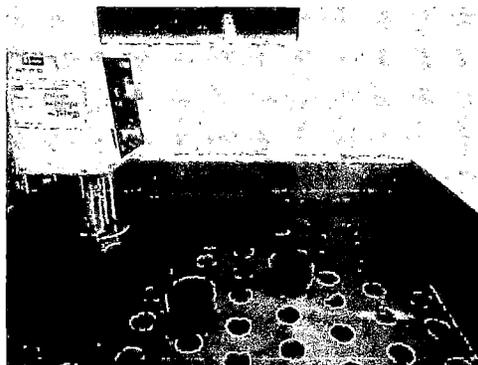
Ensayo de Residuo Asfáltico



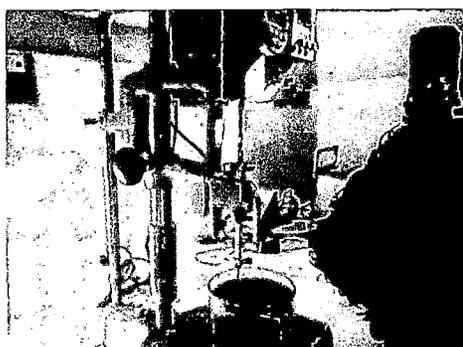
Residuo asfáltico - emulsión IV



Ensayo de elasticidad al asfalto



Baño termostático de las muestras de asfalto para el ensayo de penetración



Ensayo de penetración del asfalto



Ensayo del punto de ablandamiento

3.- Caracterización Geotécnica, ensayos del material base y preparación de los cuerpos de prueba



Muestra Red Vial 1- Cusco



Cuarteo de la muestra para los respectivos ensayos



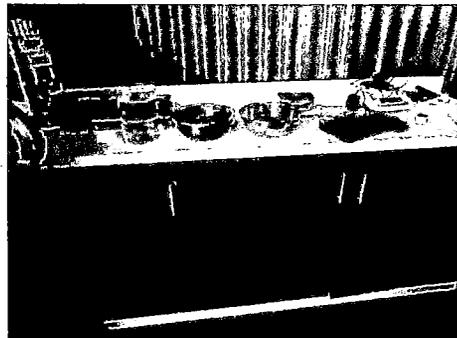
Pesaje del material para la granulometría



Granulometría del suelo



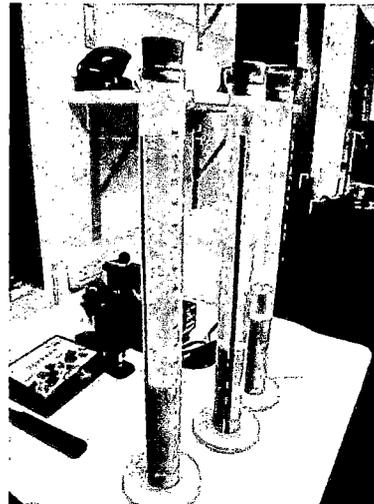
Granulometría del suelo



Muestras para determinar el O.C.H



Secado del material para determinar el
O.C.H



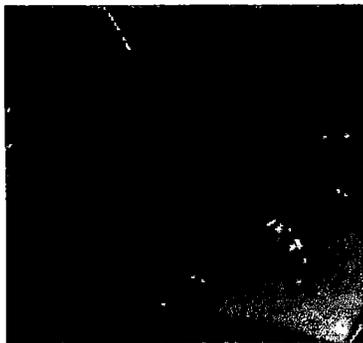
Ensayo de Equivalente de Arena



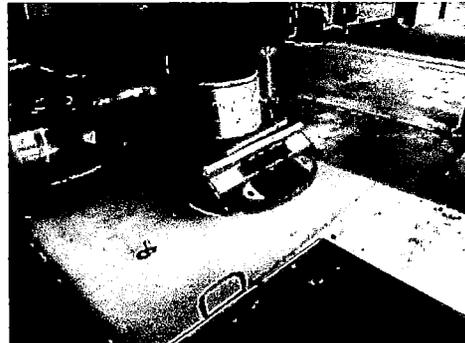
Muestras de la Red Vial 1- Cusco para
la elaboración de los cuerpos de
prueba



Selección del material para la
elaboración de los cuerpos de prueba



Elaboración de los cuerpos de prueba
(CP)



Imprimación del cuerpo de prueba-
verificación de la penetración



Cuerpo de prueba -emulsión IV (mejor comportamiento)



Cuerpo de prueba-emulsión IV (mejor comportamiento)



Lamina que se forma en la parte superior del cuerpo de prueba, penetración $\leq 1\text{mm}$



Riegos de Imprimación con MC-30 – CONCAR